

## Proyecto LIFE 12 ENV/ES/000079



### **DELIVERABLE C1/ Resultados de las campañas de monitorización del prototipo**

#### **Actividad C1.2 Seguimiento del impacto ambiental.**

##### 2.3-Monitorización de los campos electromagnéticos

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS .....	3
1. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA .....	4
2.1. Fundamentos físicos.....	4
2.2. Sistemas de emisión: las antenas.....	6
2. LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA .....	8
2.1. Normativa aplicable .....	8
2.1. Metodología de medida .....	9
2.2. Efectos sobre la salud.....	10
3. CASO DE ESTUDIO: SANT FERRAN, FORMENTERA .....	12
3.1. Descripción del emplazamiento.....	12
3.2. Puntos de medida .....	14
3.3. Medidas de radiación de campo eléctrico .....	14
3.3.1. Medidas de intensidad de campo (Fase I).....	16
3.3.2. Medidas de distribución espectral (Fase II).....	18
3.4. Medidas de radiación de campo magnético .....	21
4. CONCLUSIONES.....	23

## 1. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Las fuentes de radiación electromagnética creadas por la humanidad son cada vez más diversas y se extienden en mayor número envolviendo los territorios habitados. Hoy en día, la progresión de estas fuentes de radiación va ligada al progreso de las sociedades, pues las tecnologías de comunicación de los dispositivos electrónicos ofrecen mayores servicios con mayor interés por parte de las sociedades modernas.

Los aparatos eléctricos emiten ondas electromagnéticas (OEM). En algunos casos, las emisiones son útiles para sus funciones de comunicación, por ejemplo en el caso de un teléfono móvil. Pero en otros casos, han venido siendo consideradas interferentes por los dispositivos al estar presentes en una región del espacio (EMI, *ElectroMagnetic Interference*). Tanto es así, que los equipos electrónicos deben cumplir unos requisitos de tolerancia frente a EMI para asegurar tanto su correcto funcionamiento frente a la presencia de radiación de otros equipos o de la suya propia, como la compatibilidad para reducir la generación de interferencias en otros equipos.

En el caso de estudio se evaluará tanto la presencia de EMI como la procedencia de dicha contaminación. En este caso, todas las OEM se considerarán interferentes al suponer que la vivienda no produce ninguna radiación por sí sola y las personas que vayan a habitar dichas viviendas serán consideradas como receptoras de dicha radiación interferente. Así, se realizarán medidas tanto de intensidad de campo aplicando la normativa vigente, como la contribución de la distribución de frecuencias que ayudará a entender las fuentes posibles de EMI presentes en las viviendas.

### 2.1. Fundamentos físicos

Las ondas electromagnéticas son un fenómeno físico natural, es decir, que existe en la naturaleza sin la intervención del ser humano. Tanto es así, que las fuentes de luz (sol, estrellas, animales luminiscentes, ...), los rayos, los materiales radioactivos entre otros, son consideradas fuentes de ondas electromagnéticas. Las OEM artificiales son generadas por los equipos eléctricos y electrónicos que el ser humano fabrica.

Además de poder clasificar las OEM a través de su naturaleza, también se pueden clasificar según su capacidad para alterar la materia. Así, las radiaciones ionizantes transportan suficiente energía para modificar los átomos de la materia y generar iones con cargas eléctricas, mientras que las radiaciones no ionizantes no tienen suficiente energía para ionizar la materia.

Las radiaciones ionizantes han sido usadas tanto por la industria como por la medicina para aplicaciones diversas, desde la generación de energía eléctrica, hasta la observación del interior del cuerpo humano. Este tipo de radiaciones no son objeto de este estudio, aunque debido a su presencia en la naturaleza de fuentes ionizantes, debe ser considerada en la edificación a través del análisis de los materiales usados en la construcción de viviendas.

Las radiaciones no ionizantes son quizá las que tienen mayor presencia en el estilo de vida de las sociedades digitales. Desde las emisiones de las instalaciones eléctricas, las comunicaciones de radio y televisión, las infraestructuras de telefonía móvil hasta los electrodomésticos y ordenadores digitales, todas ellas son fuentes de OEM que no pueden ser percibidas por los sentidos humanos a no ser por su capacidad de producir efectos

térmicos sobre la materia siempre que la exposición sea de una intensidad suficientemente.

Las OEM se propagan en el espacio mediante una oscilación del campo magnético y del campo eléctrico que las forman. La figura 1 representa esta oscilación entre campos y las propiedades físicas que las caracterizan: la intensidad de la onda en un punto del espacio, la frecuencia de la onda y la longitud de onda.

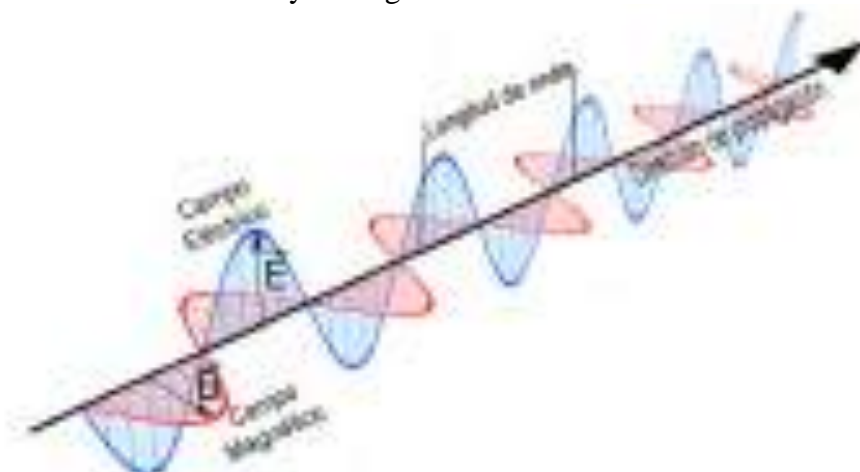


Figura 1. Representación de una onda electromagnética viajando en el espacio.

La intensidad de onda mide la amplitud del campo magnético y del campo eléctrico en cada punto del espacio.

La frecuencia de la onda mide el número de veces que la onda oscila por unidad de tiempo. Este parámetro agrupa las OEM en bandas espectrales como se muestra en la figura 2. Las bandas frecuenciales inferiores a la luz visible agrupan a las OEM no ionizantes, mientras que las bandas superiores a la luz ultravioletada comprenden las bandas ionizantes.

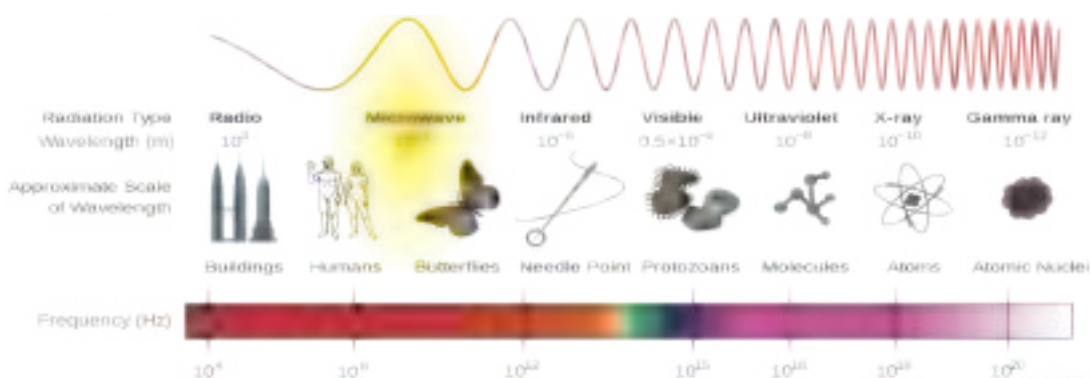


Figura 2. Representación del espectro electromagnético.

La longitud de onda mide la distancia física que recorre una OEM en un determinado tiempo equivalente al intervalo de tiempo transcurrido entre dos valores iguales consecutivos de la onda. La longitud de onda se encuentra relacionada con la frecuencia de oscilación de la onda y la velocidad de propagación en el medio por el cual viaja la OEM. Así pues, la longitud de onda dependerá del medio de propagación. En la ecuación 1 se muestra la relación genérica de la longitud de onda ( $\lambda$ ) con la frecuencia ( $f$ ) en función de la velocidad de propagación en el medio ( $v$ ).

$$\lambda = v / f$$

Ecuación 1. Relación entre la  $\lambda$  i la  $f$  en función de la  $v$  del medio.

Según el medio de propagación el índice de refracción del medio mide el cambio de la  $v$  del medio en función de la velocidad de las ondas en el vacío que se corresponde con la velocidad de la luz ( $c = 299.792.458$  m/s). La ecuación 2 recoge esta relación y la tabla 1 muestra un conjunto de índices de refracción para algunos medios.

$$v = c / n$$

Ecuación 2. Variación de la velocidad de propagación según el medio.

<b>Medio</b>	<b>n</b>
vacío	1
Aire	1,000293
Agua	1,333
Ventana de cristal	1,52
Diamante	2,42

Tabla 1. Conjunto de índices de refracción seleccionados

El hecho que la luz sea una OEM hace pensar que el resto de las bandas tiene comportamiento similar a la luz por tanto pueden ser atenuadas, refractadas y reflejadas. Es importante tener en cuenta este hecho pues explica la existencia de radiación en puntos del espacio donde no existe visión directa de la fuente.

## **2.2. Sistemas de emisión: las antenas**

Centrémonos en los sistemas de emisión de radiación no ionizante para entender mejor las interacciones que se producirán entre la vivienda y las antenas de emisión existentes. En nuestro caso, las antenas exteriores e interiores van a ser las fuentes de radiación que causarán los niveles de intensidad de campo en las zonas habitadas del proyecto.

El primer concepto que debemos conocer sobre las antenas instaladas es que no emiten en todas direcciones con la misma intensidad, es decir, la OEM de salida no se dispersa en todas las direcciones de la misma forma. Así, cada antena presenta un diagrama de radiación característico. Este diagrama de radiación indica la intensidad de la OEM en cada dirección del espacio que rodea a la antena. La figura 3(a) representa un diagrama de radiación de una antena formada únicamente por un hilo conductor o dipolo. Como puede verse en la representación del diagrama de radiación, las direcciones de mayor intensidad se encuentran en la perpendicular de la antena, mientras que las direcciones de menor intensidad se encuentran en la verticalidad del diagrama, justo en la misma dirección de orientación de la antena. De la misma forma, las antenas de telefonía móvil presentan un diagrama de radiación denominado sectorial pues concentran la mayor intensidad de campo en unas direcciones concretas del espacio mientras que se minimiza en otras direcciones, como muestra la figura 3(b). Esta sectorización mejora la eficiencia (tanto energética como de calidad de las comunicaciones) de la antena dentro del sector, pero hace necesaria más de una antena para cubrir los 360 grados.

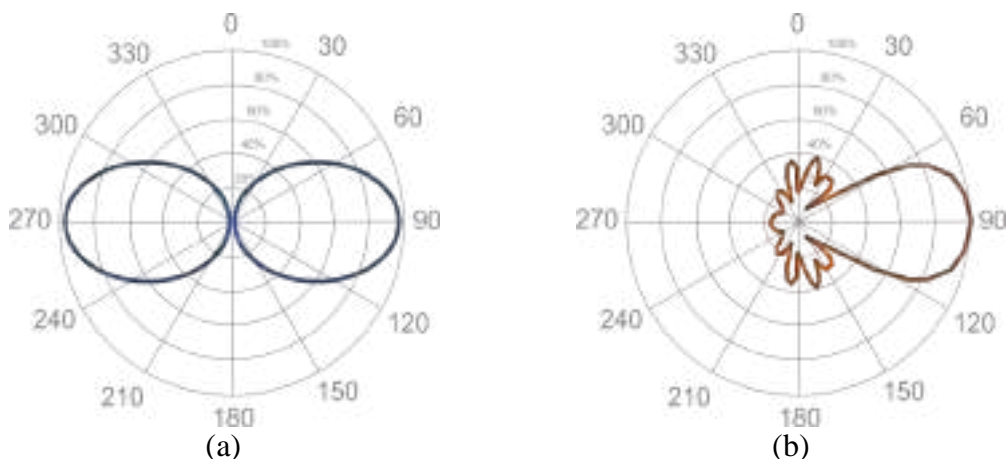


Figura 3. (a) Esquema del diagrama de radiación típico de una antena dipolo orientada a 0°. (b) Esquema del diagrama de radiación típico de una antena de telefonía móvil sectorial.

El segundo concepto ligado a las antenas que es necesario comentar es la denominada cobertura. Como se ha comentado una antena dispone de un cierto diagrama de radiación que finalmente repercute en la posibilidad o no de ofrecer servicios sobre un territorio concreto cercano a la antena. Así, la cobertura se asocia al territorio que una única antena puede cubrir para ofrecer las capacidades de comunicación. Esta cobertura también puede conseguirse mediante la combinación de varias antenas.

El diseño de las antenas se realiza de forma que maximice el territorio con cobertura, reduciéndose así la necesidad de nuevas instalaciones de antenas. Teniendo este punto en cuenta las antenas de telefonía se diseñan para realizar una cobertura sobre el terreno que describe una radiación en forma de “paraguas”, como se representa en la figura 4. Se persigue maximizar la calidad de las comunicaciones con dispositivos móviles sobre el terreno y por debajo de la horizontal de la antena.

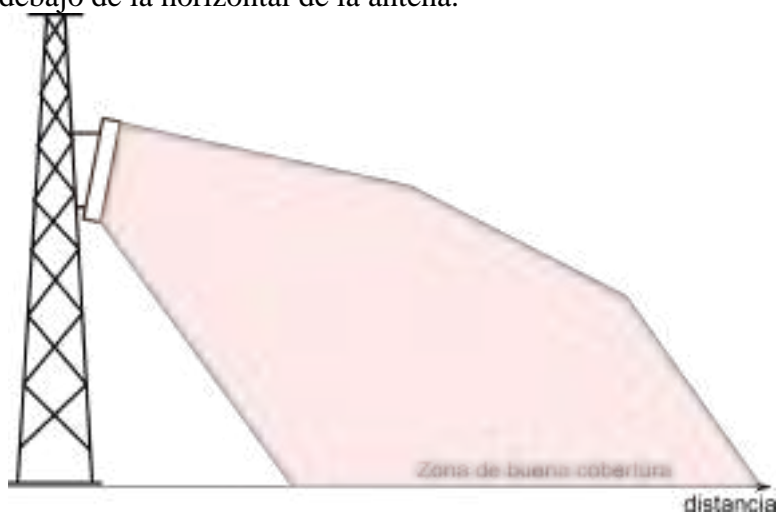


Figura 4. Esquema de la radiación en forma de paraguas de una antena de telefonía móvil.

Conocer el diagrama de radiación típico y el objetivo de máxima cobertura de la antena es importante para entender los niveles de radiación esperados en la vivienda teniendo en cuenta la situación de las fuentes de radiación de OEM.

## 2. LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La presencia de radiación electromagnética en el entorno puede tener orígenes naturales o artificiales, pero son estos últimos que han incrementado los niveles de radiación debido al uso masivo de dispositivos eléctricos y electrónicos. En este sentido, ha sido necesario establecer una normativa que asegure tanto el buen funcionamiento de las aplicaciones que hacen uso de las OEM como el mantenimiento de la radiación electromagnética en valores mínimos.

A la hora de mantener los niveles de radiación electromagnética en valores mínimos se debe entender que:

- Niveles elevados de radiación electromagnética equivale a niveles elevados de EMI que pueden crear disfunciones en los dispositivos electrónicos.
- Niveles innecesarios de radiación electromagnética equivale a malbaratar la energía disponible incidiendo en el coste económico del servicio.

### 2.1. Normativa aplicable

En España el RD 1066/2001 fija unos niveles de referencia y unos niveles de decisión máximos para garantizar la seguridad de las personas y de los equipos eléctricos y electrónicos.

Los niveles de decisión son usados en la metodología de medición como valores a partir de los cuales es necesario realizar medidas con un nivel de detalle mayor, mientras que los niveles de referencia son los niveles máximos permitidos y están basados en las recomendaciones y normativas internacionales.

Los valores de referencia (ver tabla 2) adoptados por el estado español a través del Real Decreto 1066/2001, están basados en los valores de referencia fijados por la Comisión Europea a través de la recomendación 1999/519/CE relativos a la exposición del público en general a campos electromagnéticos de frecuencias comprendidas entre 0 Hz y 300GHz. En este sentido los niveles de referencia que garantizan el cumplimiento de unos márgenes estrictos de seguridad en términos de niveles de exposición de la población a la radiación de OEM no ionizantes.

f	E (V/m)	H (A/m)	B (μT)	S (W/m <sup>2</sup> )
0 – 1 Hz	-	3,2 x 10 <sup>4</sup>	4 x 10 <sup>4</sup>	-
1 – 8 Hz	10 <sup>4</sup>	3,2 x 10 <sup>4</sup> / f <sup>2</sup>	4 x 10 <sup>4</sup> / f <sup>2</sup>	-
8 – 25 Hz	10 <sup>4</sup>	4 x 10 <sup>3</sup> / f	5 x 10 <sup>3</sup> / f	-
25 – 800 Hz	250/f	4/f	5 / f	-
0,8 – 3 kHz	250/f	5	6,25	-
3 -150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 – 1 MHz	87	0,73/f	0,92 / f	-
1 – 10 MHz	87/f <sup>1/2</sup>	0,73/f	0,92 / f	-
10 – 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 – 2000 MHz	1,375 x f <sup>1/2</sup>	0,0037 x f <sup>1/2</sup>	0,0046 x f <sup>1/2</sup>	f / 200
2 – 300 GHz	61	0,16	0,2	10

Tabla 2. Niveles de referencia para campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos (0 Hz – 300 GHz, valores rms no perturbados). (extracto del RD 1066/2001).

Donde F representa la frecuencia (Hz), E representa la intensidad de campo eléctrico (V/m), H es la intensidad de campo magnético (A/m), B es la densidad de flujo magnético ( $\mu\text{T}$ ) y S define la densidad de potencia equivalente de la onda plana ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

Los valores de decisión fijados por la normativa son 6dB inferiores a los valores de referencia fijados. Así en la Tabla 3 se recogen algunos de los valores de referencia y de decisión más típicos en función de la frecuencia del servicio considerado.

SERVICIO		FRECUENCIA (MHz)	Valor de referencia		Valor de decisión	
			(V/m)	(W/m <sup>2</sup> )	(V/m)	(W/m <sup>2</sup> )
Radio	FM	100	28	2	14	0.5
Telefonía móvil	GSM	900	41.25	4.5	20.63	1.13
	DCS	1800	58.34	9	29.17	2.25
	UMTS	2000	61.5	10	30.5	2.5

Tabla 3. Ejemplo de niveles de referencia y valores de decisión para algunos de los servicios de radiocomunicación más típicos aplicando el RD 1066/2001.

Estos valores de referencia y de decisión serán tenidos en cuenta a la hora de comparar los resultados de las mediciones realizadas. Veamos el proceso de medición recogido en la normativa y de obligado cumplimiento para proceder a la comparación de resultados.

### 2.1. Metodología de medida

Dado que el campo eléctrico y el campo magnético están acoplados en la OEM, se puede optar por realizar la medida usando cualquiera de las magnitudes mostradas en las tablas 2 y 3. En el RD 1066/2001 se regulan los valores de referencia del campo eléctrico en V/m y se establecen los niveles de decisión 6dB inferiores a los niveles de referencia. Esta diferencia pretende tener en cuenta fuentes de error y la incertidumbre en la toma de medidas. En la figura 5 se representa los niveles de decisión del campo eléctrico con respecto a los niveles de referencia recogidos en la normativa.

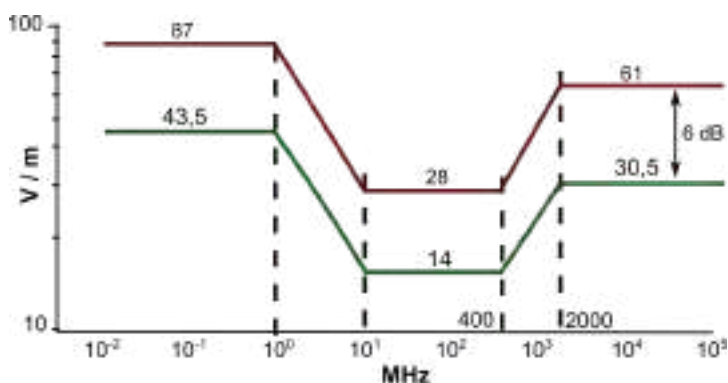


Figura 5. Límites legales del campo eléctrico (RD 1066/2001) en función de la frecuencia. La línea sólida roja representa el nivel de referencia (el límite máximo permitido), mientras que la línea sólida verde representa el nivel de decisión, 6dB inferior.

En el mismo RD 1066/2001 se describe el procedimiento de medida necesario para la verificación de los niveles existentes en un emplazamiento. Esta metodología de medida consiste en localizar la antena o antenas de telefonía a estudiar y proceder a realizar



medidas en el territorio estableciéndose tres fases de medida. La metodología de medida está representada como algoritmo en la figura 6.

La fase I (de banda ancha) consiste en realizar medidas de intensidad de campo eléctrico mediante un medidor de campo. Los valores de medida se promedian durante un periodo fijado de 6 minutos de duración. Como puede verse en la figura 6, en el caso de que alguna medida supere el nivel de decisión (éste se establece 6 dB por debajo de los valores de referencia de la tabla 2, ver figura 5) se procederá a la fase II (de banda estrecha y localizadas). El equipo de medida en la fase 2 será un analizador de espectro que permitirá distinguir la potencia de la señal diferenciando la frecuencia. En el caso de determinar que la medida supera los niveles de referencia se procederá a realizar una tercera fase de medidas para proceder a la identificación de las fuentes y analizar la contribución de cada una de ellas sobre la medida total.

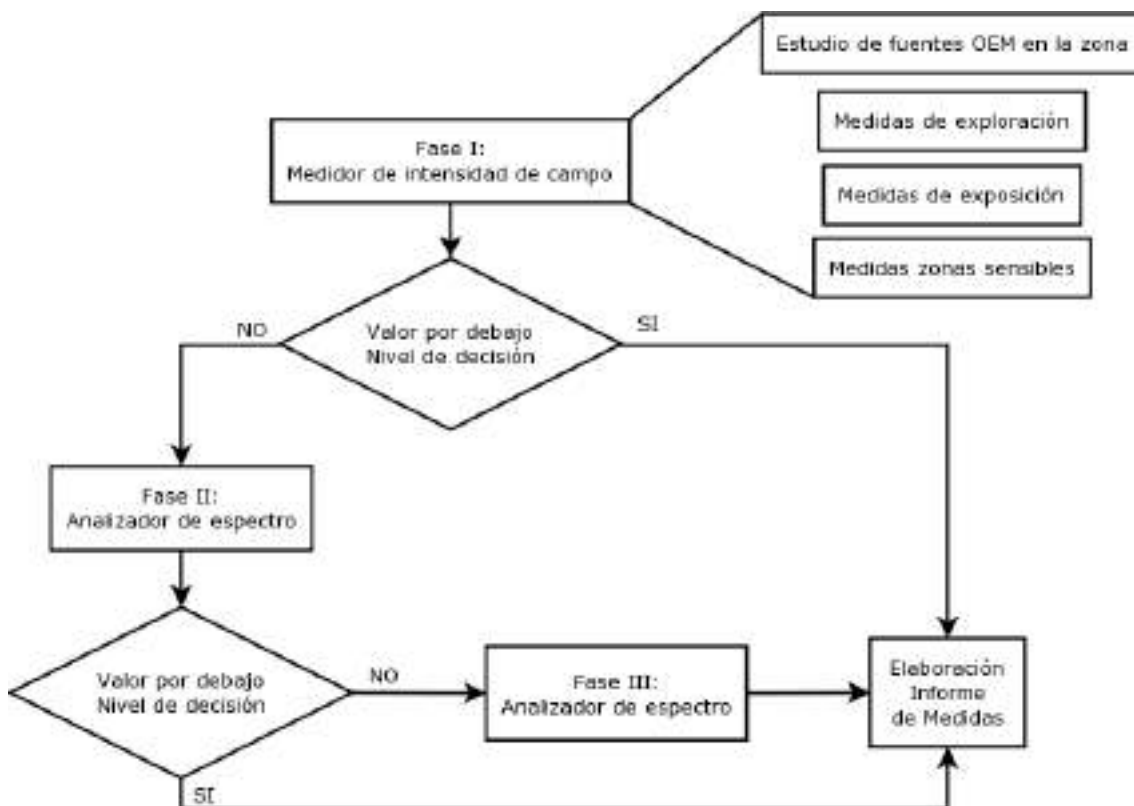


Figura 6: Esquema del procedimiento de medida establecido en el RD 1066/2001.

Esta metodología oficial es la que se ha seguido para la realización de las medidas en el interior de las viviendas objeto del estudio.

### 2.2. Efectos sobre la salud

Si centramos la atención sobre las bandas frecuenciales de comunicaciones móviles de interés para este estudio (900, 1800 y 2000 MHz), la normativa impone unos límites de referencia de: 4,5 W/m<sup>2</sup>, 9 W/m<sup>2</sup> y 10 W/m<sup>2</sup> para cada frecuencia respectivamente.

En el informe SATI publicado el 2012 por la Federación Española de municipios y provincias, se realiza una comparativa de los límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia. En este informe se detectan diferencias a la baja en

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

los valores de referencia fijados en cada país respecto a los niveles de la recomendación europea siendo la más restrictiva la normativa del país de Luxemburgo. En ella se establece para las frecuencias de telefonía móvil (900, 1800 y 2000 MHz) los valores de referencia máximos más bajos de la Comunidad Europea. La densidad de potencia máxima se limita a  $2,4 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$  equivalente a una intensidad de campo eléctrico máximo de 3V/m por cada antena.

Si se compara entre comunidades autónomas españolas, Catalunya, Castilla la Mancha y Navarra son las comunidades que establecen unos valores de referencia máximos más restrictivos para las bandas frecuenciales de 900, 1800 y 2000 MHz (de  $2 \text{ W/m}^2$ ,  $4 \text{ W/m}^2$  y  $4,5 \text{ W/m}^2$  respectivamente).

Estas diferencias no se pueden justificar desde el punto de vista de la reducción de los efectos adversos para la salud tanto para el público en general como para la exposición de trabajadores según concluye el mismo informe SATI. En este sentido se pueden destacar varias conclusiones adicionales que son de relevancia para entender mejor los resultados de la comparativa:

- La agencia Francesa de Seguridad Sanitaria del Medio Ambiente y del trabajo señala en el informe del 2009 que “reducir la exposición a la radiación de las antenas de telefonía no está justificado científicamente” y que “... se demuestra que el método más eficaz para reducir la exposición actual es incrementar el número de antenas y su cobertura”
- Las autoridades de Dinamarca, Groenlandia, Finlandia, Suecia y Noruega emitieron el 2009 un comunicado conjunto donde se indicaba que “Si el número de antenas fijas era reducido, los teléfonos móviles tendrán que utilizar más energía para mantener su conexión, por tanto la exposición del público en general podría aumentar.”

Por otro lado, según las conclusiones de la nota 193, 2014 de la Organización Mundial de la Salud se reconocen los siguientes efectos de las radiaciones electromagnéticas producidas por los terminales móviles:

- A corto termino se determina que la principal consecuencia de la interacción entre la energía radioeléctrica y el cuerpo humano es el calentamiento de los tejidos. Así, en el caso de las frecuencias utilizadas por los teléfonos móviles, la mayor parte de la energía es absorbida por la piel y los otros tejidos superficiales, de forma que el aumento de la temperatura del cerebro o de otros órganos del cuerpo es insignificante.
- A largo termino los resultados de los estudios realizados coinciden en que la exposición a campos de radiofrecuencias no aumenta el riesgo de padecer cáncer. Así mismo, el Centre Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer ha clasificado los campos electromagnéticos de radiofrecuencia como posiblemente cancerígenos para los seres humanos (grup 2B), categoría utilizada cuando se considera que una asociación casual es creíble, pero el azar, las desviaciones o otros factores no pueden descartarse con una confianza razonable ([www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/es/)).

Por tanto, la prudencia indica que es interesante incorporar estudios de contaminación electromagnética para valorar los usos de las estancias e incluso la distribución de las viviendas minimizando los periodos de exposición prolongada a niveles de radiación elevados.

### 3. CASO DE ESTUDIO: SANT FERRAN, FORMENTERA

#### 3.1. Descripción del emplazamiento

El proyecto 14HPP de Sant Ferran está situado en la dirección C/ Sant Jaume, 14 de la población de San Ferrán en la isla de Formentera. En la Figura 7 se recoge un mapa de localización del emplazamiento del caso de estudio.



Figura 7. Localización del emplazamiento del proyecto de 14HPP Sant Ferran

En el emplazamiento de las viviendas se pueden identificar cinco fuentes de radiación electromagnética formadas por antenas de telefonía móvil. La figura 8 muestra el emplazamiento de cada una de dichas antenas según se publica en el visor cartográfico del Gobierno del estado (infoantena).



Figura 8. Localización del emplazamiento de las antenas de telefonía en la población de Sant Ferran según la plataforma Infoantena de la Secretaría de estado para la Sociedad de la Información y la Agenda Digital

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

Las características frecuenciales de dichas antenas, así como las mediciones publicadas por el visor infoantana se recogen en la tabla 4. Estas mediciones se han consultado para el presente informe con fecha 30 de agosto de 2018. La fecha es importante pues tanto las especificaciones de las antenas como sus mediciones son actualizadas de forma continua por la secretaria de estado.

Identificador	Dirección	Operadora	Banda Asignada (MHz)	Distancia (m) / Acimut (°)	valor eficaz ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )
Ant1	C/ La Habana, 28	Vodafone	1905 – 1910 2140 - 2155	30 / 279	1,14761
				37 / 328	0,27597
				48 / 231	0,04459
				57 / 88	0,37563
				68 / 145	0,06369
Ant2	C/ La Habana, 28	Orange	1900 – 1905 2125 – 2140 925.1 – 935.2 1859.9 – 1879.9	67 / 114	0,19165
Ant3	C/ Major, 68	Vodafone	949,9 – 959,9 1825,1 – 1845,1 1905 – 1910 2140 - 2155	57 / 88	0,37563
				68 / 145	0,06369
				48 / 231	0,04459
				30 / 279	1,14761
				37 / 328	0,27597
Ant4	C/ La Habana, 26	Telefonica	1910 – 1915 2155 – 2170 852 – 862 1805,1 – 1825,1	24 / 19	0,14921
				55 / 114	0,19618
				65 / 143	0,03830
				49 / 232	0,03631
				65 / 332	0,92758
Ant5	C/ Major, 68	Xfera moviles	1845,1 – 1855,1	36 / 348	0,24446
				57 / 231	0,16977
				52 / 264	0,33274
				56 / 295	0,99833
				50 / 303	0,24446
				67 / 5	0,84991
				70 / 70	0,04459
				79 / 135	0,27059
				40 / 195	0,03830
46 / 220	0,27597				

Tabla 4. Colección de medidas publicadas por la Secretaría de Estado para la Sociedad de la Información y la Agenda digital del estado español.

### 3.2. Puntos de medida

Para el presente estudio se han estimado la realización de mediciones en las estancias con una ocupación previsiblemente mayor de tiempo en la vivienda, los dormitorios. Así pues, la tabla 5 y la tabla 6 listan el número de vivienda elegida para el estudio, así como la localización de los puntos de medición dentro de la vivienda.

Se han elegido cuatro viviendas en la planta baja y cuatro viviendas en la planta primera. En todas ellas se han realizado mediciones en los dormitorios y en las viviendas de planta primera también en la terraza superior de la vivienda.

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Uso emplazamiento
baja	3	M001(17)/03	Dormitorio colindante con calle
		M002(18)/03	Dormitorio colindante con jardín
	5	M003(15)/05	Dormitorio colindante con calle
		M004(16)/05	Dormitorio colindante con jardín
	7	M005(14)/07	Dormitorio colindante con calle y con armario de instalaciones
		M006(13)/07	Dormitorio colindante con jardín
	11	M007(12)/11	Dormitorio colindante con calle
		M008(11)/11	Dormitorio colindante con jardín

Tabla 5. Descripción de los puntos de medida en viviendas en planta baja.

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Uso emplazamiento
primera	4	M009(23)/04	Dormitorio colindante con jardín
		M010(24)/04	Dormitorio colindante con calle
		M011(26)/04	Terraza superior
	6	M012(19)/06	Dormitorio colindante con calle
		M013(20)/06	Dormitorio colindante con jardín
		M014(22)/06	Terraza superior
	8	M015(02)/08	Dormitorio colindante con jardín
		M016(04)/08	Dormitorio colindante con calle
		M017(05)/08	Terraza superior
	12	M018(08)/12	Dormitorio colindante con calle
		M019(06)/12	Dormitorio colindante con jardín
		M020(10)/12	Terraza superior

Tabla 6. Descripción de los puntos de medida en viviendas en planta primera.

### 3.3. Medidas de radiación de campo eléctrico

La toma de medidas en cada punto se ha realizado siguiendo el protocolo de medida dictado por la normativa vigente alterando el proceso de medida introduciendo la fase 2 de medida, aunque dicha fase no fuera necesaria.

La medida se ha realizado atendiendo diferentes franjas horarias y diferentes fases del proyecto. Así, se han realizado mediciones en los emplazamientos en franja horaria de mañana y tarde, y con viviendas recién terminadas sin ocupantes y con ocupantes con más de 6 meses. Las franjas horarias han sido señaladas en los valores con sombreados, así, el horario de mañana presenta los datos con sombreado, mientras que el horario de tarde presenta los datos sin sombreado.

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

Por otra parte, las mediciones con ocupación o sin ella se han indicado a través de la fecha de la medida. Así, la medida en 2017 se realizó con las viviendas no ocupadas, mientras que la medida de 2018 se ha realizado con las viviendas ocupadas.

Para la realización de las medidas se han utilizado dos equipos:

- Un instrumento de medida de la intensidad de campo como el mostrado en la figura 9. Este instrumento ha permitido la captura de valores en la fase I según la metodología de análisis de la normativa vigente.



Figura 9. Medidor de la intensidad de campo modelo NARDA NBM-550 y antena omnidireccional NARDA EF-0391 para la medida del campo eléctrico (100 kHz – 3 GHz)

- Un instrumento analizador del espectro electromagnético presente en el emplazamiento como el mostrado en la figura 10. Este instrumento ha permitido la captura de valores de la fase II según la metodología de análisis de la normativa vigente.



Figura 10. Analizador del espectro del campo electromagnético modelo Rohde & Schwarz FSH3

### **3.3.1. Medidas de intensidad de campo (Fase I)**

En la fase 1 se realiza la medida de la intensidad de campo eléctrico eficaz obtenido sobre un período de medida de 6 minutos. De este periodo el instrumento nos facilita tanto el valor eficaz como el valor máximo y el valor mínimo dentro el periodo de medida. Aunque la normativa solo exige la recogida el valor eficaz dentro del periodo de medida, todos estos valores han sido recogidos con la idea de poder observar las variaciones acontecidas dentro del periodo de medida realizado. Recordemos que las medidas representadas en celdas sombreadas se refieren a medidas realizadas en horario de

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

mañana, mientras que las celdas sin sombreado se refieren a medidas realizadas en horario de tarde. La tabla 7 resume los valores medidos en las viviendas en la planta baja, mientras que la tabla 8 resume los valores medidos en las viviendas en la planta primera y las medidas realizadas en las terrazas superiores. Las medidas directamente como se obtienen del instrumento se expresan en Voltios por metro.

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Medida 2017 (V/m)			Medida 2018 (V/m)		
			MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN
baja	3	M001/03	0,17	0,01	0,0	0,2	0,1	0,0
		M002/03	0,15	0,01	0,0	0,16	0,07	0,0
	5	M003/05	0,2	0,01	0,0	0,38	0,3	0,13
		M004/05	0,16	0,01	0,0	0,34	0,25	0,11
	7	M005/07	0,15	0,01	0,0	0,37	0,28	0,19
		M006/07	0,15	0,02	0,0	0,28	0,11	0,0
	11	M007/11	0,0	0,0	0,0	0,14	0,05	0,0
		M008/11	0,0	0,0	0,0	0,19	0,09	0,0

Tabla 7. Valores de intensidad de campo eléctrico medido en viviendas en planta baja.

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Medida 2017 (V/m)			Medida 2018 (V/m)		
			MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN
primera	4	M009/04	0,15	0,01	0,0	0,22	0,13	0,03
		M010/04	0,34	0,16	0,0	0,43	0,37	0,3
		M011/04	3,86	2,72	2,24	3,87	3,01	0,0
	6	M012/06	0,21	0,02	0,0	0,18	0,09	0,0
		M013/06	0,17	0,01	0,0	0,2	0,07	0,0
		M014/06	3,04	2,3	1,9	2,99	2,29	1,87
	8	M015/08	0,18	0,04	0,0	0,36	0,29	0,22
		M016/08	0,41	0,26	0,0	0,58	0,49	0,39
		M017/08	2,63	1,86	1,57	3,02	2,36	1,9
	12	M018/12	0,01	0,0	0,0	0,21	0,09	0,0
		M019/12	0,0	0,0	0,0	0,48	0,13	0,0
		M020/12	2,98	2,08	1,73	3,1	2,35	1,75

Tabla 8. Valores de intensidad de campo eléctrico medido en viviendas en planta primera.

Para poder comparar estos valores con los ofrecidos en la tabla 4 publicados por la secretaria de estado es necesario tener en cuenta que para una onda plana, la densidad de potencia (S), expresada en  $W/m^2$  está relacionada con el campo eléctrico (E), expresado en V/m mediante la impedancia del espacio libre ( $Z = 377 \Omega$ ) a través de la relación  $S = E^2 / Z$ . Teniendo esta relación en cuenta los valores de medida de las tablas 7 y 8 se pueden expresar en densidad de potencia como se recoge en las tablas 9 y 10.

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Medida 2017 ( $\mu W/cm^2$ )			Medida 2018 ( $\mu W/cm^2$ )		
			MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN
baja	3	M001/03	0,0077	0,00003	0,0	0,0106	0,0026	0,0
		M002/03	0,0060	0,00003	0,0	0,0068	0,0013	0,0
	5	M003/05	0,0106	0,00003	0,0	0,0383	0,0238	0,0045
		M004/05	0,0068	0,00003	0,0	0,0307	0,0166	0,0032
	7	M005/07	0,0060	0,00003	0,0	0,0363	0,0208	0,0096
		M006/07	0,0060	0,0001	0,0	0,0208	0,0032	0,0
	11	M007/11	0,0	0,0	0,0	0,0052	0,0007	0,0
		M008/11	0,0	0,0	0,0	0,0096	0,0007	0,0

Tabla 9. Valores de densidad de campo en viviendas en planta baja.



Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Medida 2017 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )			Medida 2018 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )		
			MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN
primera	4	M009/04	0,0060	0,0	0,0	0,0128	0,0045	0,0002
		M010/04	0,0307	0,0068	0,0	0,0490	0,0363	0,0239
		M011/04	3,9521	1,9624	1,3309	3,9727	2,4032	0,0
	6	M012/06	0,0117	0,0001	0,0	0,0086	0,0021	0,0
		M013/06	0,0077	0,0	0,0	0,0106	0,0013	0,0
		M014/06	2,4514	1,4032	0,9576	2,3714	1,3910	0,9276
	8	M015/08	0,0086	0,0004	0,0	0,0344	0,0223	0,0128
		M016/08	0,0446	0,0179	0,0	0,0892	0,0637	0,0403
		M017/08	1,8347	0,9177	0,6538	2,4192	1,4773	0,9576
	12	M018/12	0,0	0,0	0,0	0,0117	0,0021	0,0
		M019/12	0,0	0,0	0,0	0,0611	0,0045	0,0
		M020/12	2,3555	1,1476	0,7939	2,5491	1,4649	0,8123

Tabla 10. Valores de densidad de campo en viviendas en planta primera.

Según la normativa vigente (RD 1066/01) el nivel de decisión para la telefonía móvil se ha fijado en 14.0 V/m que equivale a 51,9894  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Atendiendo a los valores mostrados en las tablas anteriores se observa que los niveles de radiación están por debajo de los valores de decisión que son 6dB inferiores a los valores de referencia máximos permitidos.

Ante estos valores la medición de fase 2 no sería necesaria, pero para el presente estudio se presenta dicha medición en el siguiente apartado.

### 3.3.2. Medidas de distribución espectral (Fase II)

La medición de la distribución espectral de las ondas electromagnéticas que llegan a un punto concreto del espacio se realiza mediante un analizador de espectro. La lectura se ha realizado sobre el ancho de banda completo del equipo (3GHz) y promediando un total de 10 capturas para poder reducir el nivel de ruido existente en la medida.

La figura 11 representa las frecuencias presentes en el interior de la vivienda 7 en planta baja. Esta distribución es similar en todas las viviendas de planta baja colindantes con la calle de Sant Jaume.

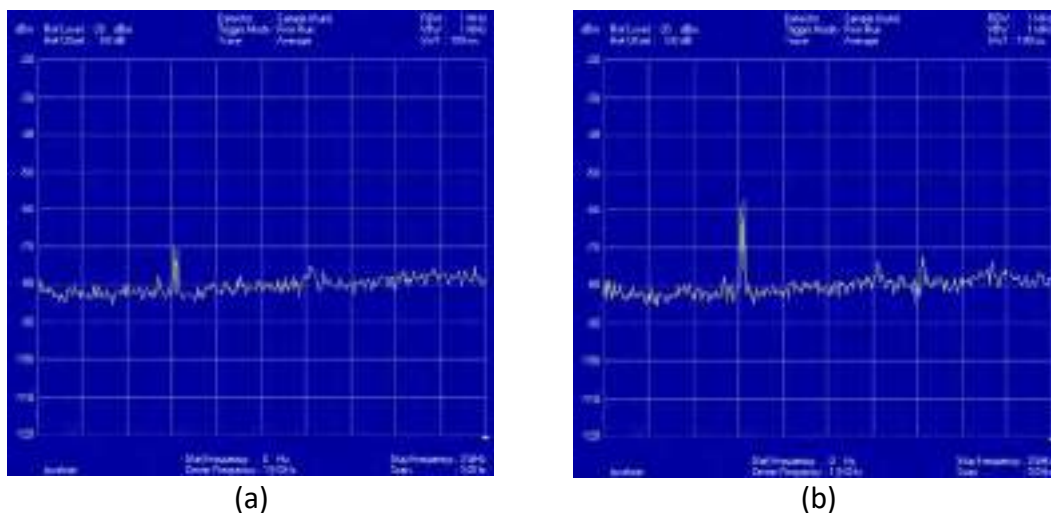


Figura 11. Distribución de frecuencias en la vivienda 7 (a) punto M006/07 y (b) punto M005/07

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 11(a) son:

810 MHz (-77,8 dBm),  
920 MHz (-70,4 dBm),  
940 MHz (-70,8 dBm),  
1830 MHz (-74,9 dBm)

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 11(b) son:

810 MHz (-77,9 dBm),  
920 MHz (-58,8 dBm),  
940 MHz (-57,1 dBm),  
1830 MHz (-73,8 dBm),  
2130 MHz (-72,7 dBm)

La siguiente figura 12 muestra la distribución frecuencial del interior de la vivienda 8 y de la terraza superior de la vivienda. En este caso se trata de un ejemplo de vivienda de planta primera con vivienda colindantes en cada lado.

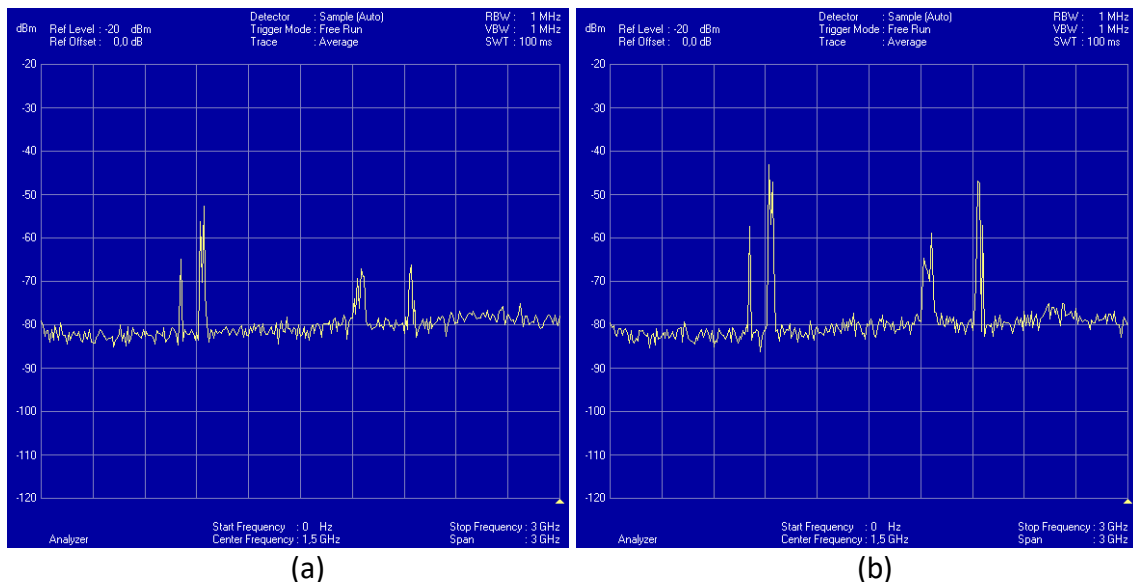


Figura 12. Distribución de frecuencias en la vivienda 8 (a) punto M015/08 y (b) punto M017/08

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 12(a) son:

810 MHz (-64,9 dBm),  
920 MHz (-56,0 dBm),  
940 MHz (-52,5 dBm),  
1830 MHz (-69,3 dBm),  
1850 MHz (-67,0 dBm),  
2140 MHz (-66,1 dBm)

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 12(b) son:

810 MHz (-57,3 dBm),  
920 MHz (-43,0 dBm),  
940 MHz (-47,0 dBm),  
1820 MHz (-64,5 dBm),  
1860 MHz (-58,9 dBm),  
2130 MHz (-46,7 dBm),  
2160 MHz (-57,0 dBm)

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

La figura 13 muestra los resultados de las observaciones realizadas en la vivienda 6 de la calle Sant Jaume con terraza superior. En este caso la medición interna se realiza en el dormitorio más cercano a la dirección de las antenas y en la terraza superior.

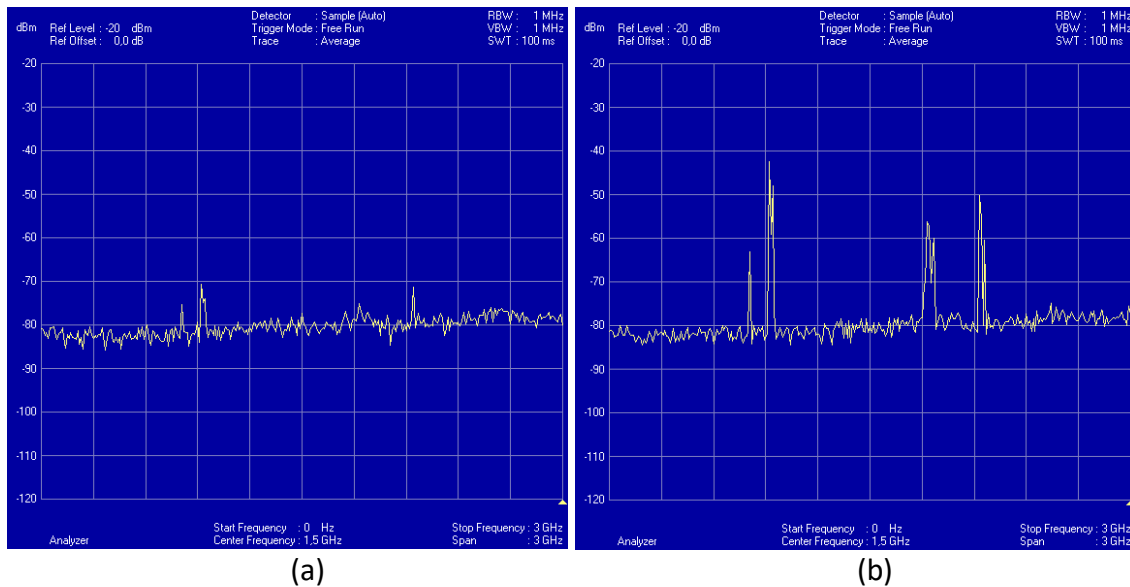


Figura 13. Distribución de frecuencias en la vivienda 6 (a) punto M013/06 y (b) punto M014/06

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 13(a) son:

- 810 MHz (-75,5 dBm),
- 920 MHz (-70,8 dBm),
- 1830 MHz (-75,2 dBm),
- 2140 MHz (-71,5 dBm)

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 13(b) son:

- 810 MHz (-63,0 dBm),
- 920 MHz (-42,3 dBm),
- 940 MHz (-47,9 dBm),
- 1830 MHz (-56,2 dBm),
- 1870 MHz (-59,9 dBm),
- 2130 MHz (-50,2 dBm),
- 2160 MHz (-60,4 dBm)

La figura 14 recopila los resultados obtenidos en la vivienda 12 también con terraza superior y con dormitorio orientado en el sentido perpendicular a la dirección de las antenas. Esta vivienda correspondería a la más alejada de la zona de antenas.

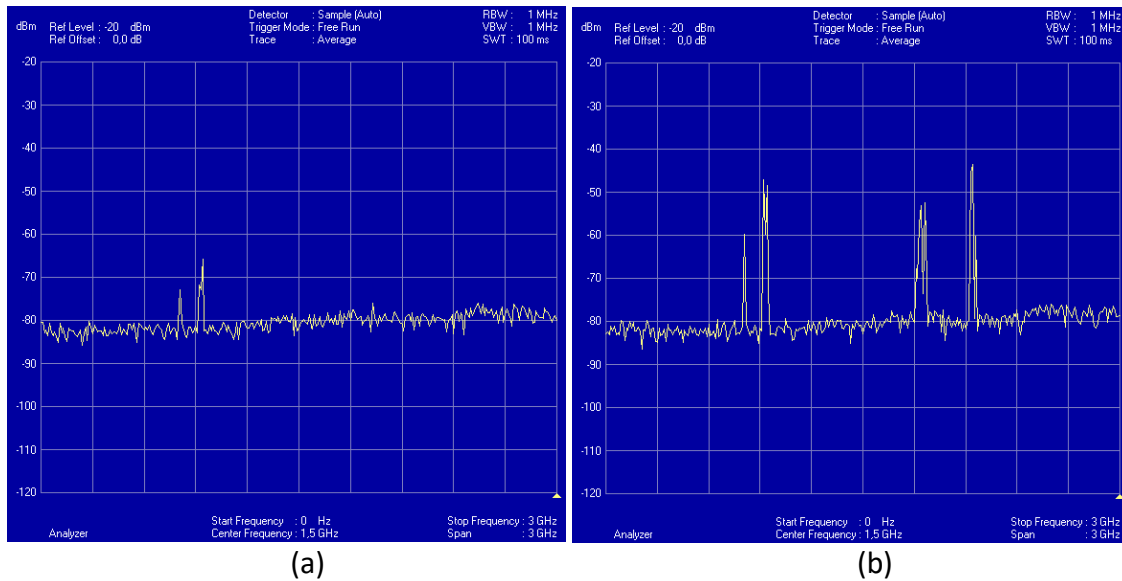


Figura 14. Distribución de frecuencias en la vivienda 12 (a) punto M019/12 y (b) punto M020/12

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 14(a) son:

810 MHz (-73,1 dBm),  
920 MHz (-65,6 dBm)

Las bandas de frecuencias con mayor intensidad en la gráfica de la figura 14(b) son:

810 MHz (-59,8 dBm),  
920 MHz (-47,1 dBm),  
940 MHz (-48,4 dBm),  
1840 MHz (-53,1 dBm),  
1860 MHz (-52,3 dBm),  
2140 MHz (-43,5 dBm),  
2160 MHz (-60,1 dBm)

Cabe tener en cuenta que la lectura se ha realizado sobre el ancho de banda completo del instrumento. Por tanto, es de esperar que las bandas de frecuencias señaladas en los listados anteriores requieran de una medida con menor ancho de banda y mayor resolución para su identificación dentro del espectro de frecuencias emitidas por las fuentes de radiación. En este sentido, se han indicado para expresar los valores máximos de radiación recogidos en cada una de las distribuciones de frecuencias de las figuras de este apartado.

### 3.4. Medidas de radiación de campo magnético

La toma de medidas en cada punto se ha realizado siguiendo el protocolo de medida previsto en la normativa vigente que indica un periodo de 6 minutos. De igual forma que para las medidas de intensidad de campo eléctrico el equipo usado ha sido el modelo NARDA NBM-550, pero en este caso el campo magnético lo capturaremos con la antena omnidireccional NARDA NBM H-Field-Probe HF 3061 (300kHz – 30 MHz).

Del periodo de medida el instrumento nos facilita tanto el valor eficaz como el valor máximo y el valor mínimo dentro el periodo de medida. Aunque la normativa solo exige la recogida el valor eficaz dentro del periodo de medida, todos estos valores han sido recogidos con la idea de poder observar las variaciones acontecidas dentro del periodo de

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

medida realizado. Recordemos que las medidas representadas en celdas sombreadas se refieren a medidas realizadas en horario de mañana, mientras que las celdas sin sombreado se refieren a medidas realizadas en horario de tarde.

La tabla 11 resume los valores medidos en las viviendas en la planta baja, mientras que la tabla 12 resume los valores medidos en las viviendas en la planta primera y las medidas realizadas en las terrazas superiores. Las medidas directamente como se obtienen del instrumento se expresan en  $10^{-3}$  Amperios por metro (mA/m).



Figura 15. Medidor de la intensidad de campo modelo NARDA NBM-550 y antena omnidireccional NARDA NBM H-Field-Probe HF 3061

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Medida 2017 (mA/m)			Medida 2018 (mA/m)		
			MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN
baja	3	M001/03	9,4	3,2	0	8,2	3,5	0
		M002/03	8,8	3,7	0	7,6	2,7	0
	5	M003/05	16,5	4,8	0	20,0	17,8	7,1
		M004/05	12,9	3,4	0	18,7	16,0	7,1
	7	M005/07	9,9	4,8	0	10,5	5,4	0
		M006/07	9,3	4,4	0	6,3	1,9	0
	11	M007/11	9,5	4,2	0	8,2	4,6	0
		M008/11	8,9	3,9	0	7,4	2,6	0

Tabla 11. Valores de intensidad de campo magnético medido en viviendas en planta baja.

Planta	Vivienda	Id. punto de medida	Medida 2017 (mA/m)			Medida 2018 (mA/m)		
			MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN
primera	4	M009/04	16,6	7	0	14,4	2,7	0
		M010/04	19,4	5,6	0	7,7	3,4	0
		M011/04	41,1	10,2	4,6	59,6	47,6	36,2
	6	M012/06	13,8	7	0	9,5	2,7	0
		M013/06	20,4	6,7	0	7,3	2,4	0
		M014/06	44,7	10,6	4,5	68,5	38,5	31,9
	8	M015/08	33,1	11,6	3,9	8,7	4,8	0
		M016/08	11,7	5,8	0	17,5	10,0	0
		M017/08	46,3	8,8	0	71,5	41,5	34,2
	12	M018/12	9,7	4,6	0	11,8	8,3	3,0
		M019/12	9,4	4,1	0	10,6	5,7	0
		M020/12	24,9	6,6	3,5	67,1	41,5	29

Tabla 12. Valores de intensidad de campo magnético medido en viviendas en planta primera.

## 4. CONCLUSIONES

Esta memoria recoge los fundamentos teóricos y la normativa aplicable para limitar la contaminación electromagnética en las viviendas. En la normativa se establecen tanto los niveles de referencia como los niveles de decisión para el estudio de la radiación electromagnética. Los niveles de referencia representan los valores máximos de intensidad de campo eléctrico y magnético permitidos para cada banda de frecuencias.

Se han localizado, identificado y descrito las fuentes principales de contaminación electromagnética de la zona donde se sitúan las viviendas del proyecto objeto de estudio. Estas fuentes pueden presentar una cierta variabilidad pues las operadoras de telecomunicaciones adaptan las estaciones de radiación según los servicios que ofrecen y cambios normativos. Así, debemos recordar que, en el año 2015, en el estado español, se liberó las bandas de frecuencia comprendidas entre los 790MHz y los 862MHz como consecuencia de un mejor aprovechamiento de las bandas de radiodifusión de la TDT. Así, estas bandas liberadas permitieron el despliegue de servicios de comunicaciones de pago como la denominada 4G. En la actualidad está en proceso una segunda reestructuración de las bandas de frecuencias comprendidas entre los 694MHz i los 790MHz. Estos ajustes hacen evidente la necesidad de realizar el seguimiento de los niveles de radiación electromagnética debido a su continua evolución.

Las lecturas publicadas por la secretaria de estado a través del portal infoantena son mediciones que se realizan a pie de calle (zona pública). Los valores que se han recopilado presentan niveles inferiores a los fijados de decisión como se recoge en la tabla 4. En este estudio se ha estimado conveniente realizar un análisis más exhaustivo en

## Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera

emplazamientos dentro de la propiedad, teniendo en cuenta las diferentes alturas de cada vivienda, ya que, la distribución de estas viviendas puede verse afectada con niveles de radiación diferentes que los medidos a pie de calle. Esta hipótesis se fundamenta en el hecho de que la visión directa con las fuentes de radiación electromagnética es mayor cuanto mayor es la altura des del suelo. Además, se ha elegido la realización de mediciones en las estancias de dormitorio al ser lugares de reposo de los habitantes. El tiempo de exposición es un factor a tener en cuenta a la hora de medir el impacto de los niveles de radiación, así se espera que los dormitorios sean las estancias con mayor número de horas de permanencia por parte de los habitantes de las viviendas.

La medida combinada del campo magnético y del campo eléctrico realizada en este estudio proporciona un análisis preciso de la magnitud de las ondas electromagnéticas procedentes de las instalaciones de telecomunicaciones exteriores y de las emisiones de otras fuentes procedentes de equipos más domésticos, como la instalación eléctrica o los equipos electrodomésticos. En todos los casos se ha observado unos niveles de radiación dentro de la normativa, aunque se pueden apreciar valores mayores durante las mediciones realizadas en el periodo 2018 (ver valores en las tablas 7 y 8). Las medidas recogidas en dos periodos diferentes teniendo en cuenta la situación de habitabilidad de las viviendas permite establecer conclusiones sobre la incidencia de dichas ondas.

Las lecturas realizadas han demostrado el incremento en los valores de radiación con la altura, así los valores de radiación en las terrazas superiores del edificio (puntos de medida) son mucho mayores que los valores en los niveles inferiores dentro de las viviendas. El efecto de reducción de los niveles se puede asociar tanto a la menor alineación del punto de medición con respecto a la antena, como al blindaje que provoca la envolvente propia de la estructura de la vivienda (ver valores M011/04, M014/06, M017/08, M020/12 en la tabla 8).

En el interior de las viviendas en planta baja se aprecian, en general, niveles menores de radiación en comparación a las viviendas en planta primera (ver valores en las tablas 7 y 8). Siendo en general medidas de muy bajo nivel de radiación, se aprecian ligeras subidas en los valores medios que pueden ser atribuibles a los cambios de bandas de emisión de las estaciones de telecomunicaciones y a la mayor presencia de equipos electrónicos en el interior de la vivienda.

No se aprecian diferencias entre horarios de medida, pero sí se aprecia una alta variabilidad si se tiene en cuenta la ocupación o no de la vivienda. Así, incluso la vivienda número 7 que permanece no ocupada presenta valores de radiación superiores a las del periodo 2017 debido, seguramente, a estar las viviendas vecinas ocupadas. Esta observación se reproduce a nivel de intensidad de campo eléctrico, mientras que a la intensidad en el campo magnético tiene valores cambiantes (ver tablas de valores 11 y 12). Así, se pueden apreciar, en los resultados de las tablas 11 y 12, viviendas con una baja intensidad de campo magnético (viviendas 3 o 11 planta baja, y 4 o 6 viviendas planta primera) y, viviendas con mayor intensidad (vivienda 5 planta baja y viviendas 8 o 12 planta primera). Estas diferencias hacen suponer que los equipos electrónicos instalados por los usuarios contribuyen a aumentar dichas variaciones de una vivienda a otra.

Del análisis de frecuencias recogidas en el apartado 3.3.2 de este documento, se aprecian las bandas de 810 MHz y de 920 MHz como las de mayor intensidad en todos los puntos de medida. Estas bandas se corresponden a la zona de frecuencias de los servicios de 4G. Por otro lado, las bandas de frecuencia superiores no son significativas dentro de la vivienda por encima del nivel de ruido suelo (ver figuras 11, 13(a), 14(a)). Este hecho se puede apreciar si se comparan las observaciones llevadas a término en las terrazas

## **Memoria radiación electromagnética proyecto 14HPP Sant Ferran, Formentera**

superiores de las viviendas (figuras 12(b), 13(b), 14(b)) y las observaciones realizadas dentro de la vivienda. La atenuación que provoca la construcción para frecuencias cercanas a las bandas del GHz es considerable, mientras que se aprecian mejores penetraciones para las bandas de 810 MHz y de 920 MHz. Esta observación hace pensar que la contaminación electromagnética en el interior de la vivienda es atribuible principalmente a estas bandas con mayor penetración.

La previsión de una segunda reestructuración de la asignación de bandas para la entrada de la tecnología 5G plantea la necesidad de un seguimiento futuro de los niveles de radiación electromagnética en las viviendas. La mayor penetración de dichas bandas expone a los habitantes a niveles de radiación que previsiblemente serán superiores, aunque como se constata de las mediciones reportadas por debajo de los niveles de referencia establecidos por la normativa vigente.