

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2180
(09/2010)

**Influencia de las equipos industriales,
científicos y médicos (ICM) sobre los
servicios de radiocomunicaciones**

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2011

© UIT 2011

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

INFORME UIT-R SM.2180

**Influencia de los equipos industriales, científicos y médicos (ICM)
sobre los servicios de radiocomunicaciones**

(2010)

ÍNDICE

Página

1	Introducción.....	2
2	Definición y bandas de frecuencia.....	2
3	Interferencia provocada por los equipos ICM.....	3
4	Características de radiación.....	6
	4.1 Calentamiento por inducción.....	6
	4.2 Calentamiento dieléctrico.....	8
	4.3 Aplicaciones médicas.....	8
5	Análisis de la posible interferencia.....	9
	5.1 Modelos de interferencia del CISPR.....	9
	5.1.1 Modelo básico.....	9
	5.1.2 Modelo del CISPR para la gama de frecuencias por debajo de 1 GHz.....	11
	5.1.3 Modelo del CISPR para la gama de frecuencias por encima de 1 GHz.....	14
	5.2 Examen de los límites del CISPR.....	16
	5.3 Características y criterios de protección de los servicios de radiocomunicaciones.....	20
	5.4 Medición del campo de radiación.....	21
	5.4.1 Formación de imágenes por resonancia magnética.....	22
	5.4.2 Equipos de calentamiento por inducción.....	23
	5.4.3 Horno de microondas.....	24
6	Conclusión.....	25
	Referencias.....	25
	Apéndice 1 – Resultados de la medición de un dispositivo IRM.....	27
	Apéndice 2 – Resultados de la medición en un equipo de calentamiento por inducción.....	33

1 Introducción

Los equipos industriales, científicos y médicos (ICM) para aplicaciones no relacionadas con las comunicaciones se han utilizado ampliamente para varios objetivos, por ejemplo, secado, soldadura, calentamiento, descongelación, cocción, moldeo, imaginería, etc.

Recientemente, el UIT-R ha elaborado la Recomendación UIT-R SM.1056 relativa a la protección de los servicios de radiocomunicaciones contra las emisiones radiadas por los equipos ICM. Los límites de las emisiones procedentes de los equipos ICM recomendados por el UIT-R tienen como referencia los límites establecidos por la Publicación 11 del CISPR (Comité Internacional Especial de perturbaciones Radioeléctricas). Es sabido que los límites del CISPR 11 se basan en el modelo de interferencia proporcionado en CISPR 16-4-4.

Cabe esperar que tanto los equipos ICM como los transceptores radioeléctricos funcionen muy próximos unos a otros ya que el número de estos dispositivos de RF es cada vez mayor. Por consiguiente, es preciso examinar la repercusión de los equipos ICM sobre los servicios de radiocomunicaciones.

2 Definición y bandas de frecuencia

Este punto se refiere a:

- 1) las definiciones de ICM;
- 2) las bandas de frecuencia;
- 3) la interferencia provocada por los equipos ICM indicada en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).

A continuación figura un extracto del RR al respecto de estos temas:

1) Definición

«**1.15** *aplicaciones industriales, científicas y médicas* (de la energía radioeléctrica) (ICM): Aplicación de equipos o de instalaciones destinados a producir y utilizar en un espacio reducido energía radioeléctrica con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación.»

2) Bandas de frecuencias

«**5.138** Las bandas:

6 765-6 795 kHz	(frecuencia central 6 780 kHz),
433,05-434,79 MHz	(frecuencia central 433,92 MHz) en la Región 1, excepto en los países mencionados en el número 5.280 ,
61-61,5 GHz	(frecuencia central 61,25 GHz),
122-123 GHz	(frecuencia central 122,5 GHz), y
244-246 GHz	(frecuencia central 245 GHz)

están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). La utilización de estas bandas para las aplicaciones ICM está sujeta a una autorización especial concedida por la administración interesada de acuerdo con las otras administraciones cuyos servicios de radiocomunicación puedan resultar afectados. Al aplicar esta disposición, las administraciones tendrán debidamente en cuenta las últimas Recomendaciones UIT-R pertinentes.

5.280 En Alemania, Austria, Bosnia y Herzegovina, Croacia, la ex República Yugoslava de Macedonia, Liechtenstein, Portugal, Eslovenia, Suiza y Yugoslavia, la banda 433,05-434,79 MHz (frecuencia central 433,92 MHz) está designada para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación de estos países que funcionan en esta banda deben

aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en esta banda estarán sujetos a las disposiciones del número **15.13** (CMR-2007)».

« 5.150	Las bandas:	
	13 553-13 567 kHz	(frecuencia central 13 560 kHz),
	26 957-27 283 kHz	(frecuencia central 27 120 kHz),
	40,66-40,70 MHz	(frecuencia central 40,68 MHz),
	902-928 MHz	en la Región 2 (frecuencia central 915 MHz),
	2 400-2 500 MHz	(frecuencia central 2 450 MHz),
	5725-5 875 MHz	(frecuencia central 5 800 MHz) y
	24-24,25 GHz	(frecuencia central 24,125 GHz)

están designadas para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM). Los servicios de radiocomunicación que funcionan en estas bandas deben aceptar la interferencia perjudicial resultante de estas aplicaciones. Los equipos ICM que funcionen en estas bandas estarán sujetos a las disposiciones del número **15.13**.»

3) Interferencia provocada por los equipos ICM

«**15.12** § 8 Las administraciones adoptarán cuantas medidas prácticas sean necesarias para que el funcionamiento de los aparatos e instalaciones eléctricas de toda clase, incluidas las redes de distribución de energía o de telecomunicaciones, pero excluidos los equipos destinados a aplicaciones industriales, científicas y médicas, no puedan causar interferencias perjudiciales a un servicio de radiocomunicación y, en particular, a un servicio de radionavegación o cualquier otro servicio de seguridad que funcione de acuerdo con el presente Reglamento¹.

15.13 § 9 Las administraciones adoptarán cuantas medidas prácticas sean necesarias para que la radiación de los equipos destinados a aplicaciones industriales, científicas y médicas sea mínima y para que, fuera de las bandas destinadas a estos equipos, el nivel de dicha radiación sea tal que no cause interferencia perjudicial al servicio de radiocomunicación y, en particular, a un servicio de radionavegación o cualquier otro servicio de seguridad que funcione de acuerdo con el presente Reglamento¹.»

3 Aplicaciones de los equipos ICM

De conformidad con la Recomendación UIT-R SM.1056 a continuación aparecen algunos ejemplos de aplicaciones ICM.

Equipos de calentamiento por inducción (por debajo de 1 MHz)

- Cocinas por inducción domésticas.
- Fundición de metales.
- Calentamiento de palanquilla.
- Soldadura de tubos.
- Soldadura blanca y amarilla.
- Calentamiento de piezas.

¹ **15.12.1** y **15.13.1** En esta materia las administraciones se guiarán por las últimas Recomendaciones UIT-R pertinentes.

- Soldadura por puntos.
- Tratamiento térmico selectivo de la superficie de piezas metálicas.
- Cultivo y refinado de cristales semiconductores.
- Costura de superficies de carrocerías de automotores.
- Cierre hermético de envases.
- Calentamiento de bandas de acero para galvanizado, recocido y secado de pintura

Equipos de caldeo dieléctrico por RF (1-100 MHz)

- Secado de chapa de madera y madera de construcción.
- Secado de textiles.
- Secado de fibra de vidrio.
- Secado de papel y de revestimientos de papeles.
- Precalentamiento de plásticos.
- Soldadura y moldeo de plásticos.
- Post-horneado y secado de productos alimenticios .
- Descongelación de carnes y pescados.
- Secado de machos en fundición.
- Secado de colas.
- Secado de películas.
- Endurecimiento de adhesivos.
- Precalentamiento de materiales.

Equipos médicos

- Equipos de diatermia por ondas cortas y microondas y de hipertermia.
- Unidades quirúrgicas eléctricas (UQE).
- Formación de imágenes por resonancia magnética (IRM).
- Formación de imágenes ultrasónicas para el diagnóstico.

Equipos de microondas (por encima de 900 MHz)

- Hornos de microondas domésticos y comerciales.
- Calentamiento, descongelación y cocción de alimentos.
- Secado de pinturas y revestimientos con rayos ultravioletas.
- Vulcanización del caucho.
- Elaboración de productos farmacéuticos.

Equipos varios

- Soldadores de arco excitados por radiofrecuencias.
- Equipos de erosión por arco eléctrico.

Equipos científicos y de laboratorio

- Generadores de señales.
- Receptores de medida.
- Contadores de frecuencia.
- Medidores de caudal.

- Analizadores de espectro.
- Básculas.
- Instrumentos de análisis químicos.
- Microscopios electrónicos.
- Fuentes de alimentación con conmutación (no incorporadas a otros equipos).

En el Cuadro 1 se muestran algunas de las aplicaciones de equipos ICM en distintas bandas de frecuencias de funcionamiento.

CUADRO 1

Ejemplos de aplicaciones de equipos ICM

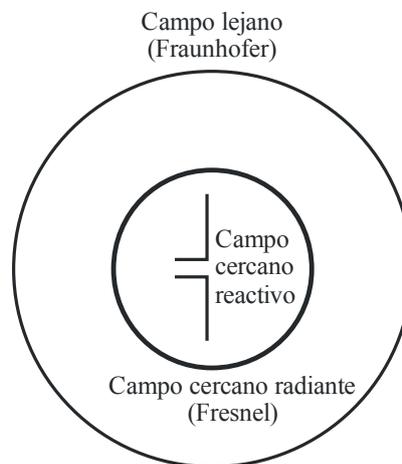
Frecuencia (MHz)	Principales aplicaciones
Inferior a 0,15	Calentamiento por inducción en la industria (soldadura y fusión de metales) Limpieza por ultrasonidos (15-30 kHz) Aplicaciones médicas (formación de imágenes ultrasónicas para el diagnóstico)
0,15-1	Calentamiento por inducción (tratamiento térmico, cierre de envases, soldadura y fusión de metales) Diagnóstico médico con ultrasonidos
1-10	Diatermia quirúrgica (oscilador de onda amortiguada de 1-10 MHz) Encolado y tratamiento de la madera (3,2 y 6,5 MHz) Generador de inducción de válvulas Producción de materiales semiconductores Soldadura de arco estabilizado por radiofrecuencia (oscilador de onda amortiguada de 1-10 MHz)
10-100	Calentamiento dieléctrico (se emplean principalmente frecuencias de las bandas ICM a 13,56, 27,12 y 40,68 MHz, pero en muchos casos también frecuencias fuera de las bandas ICM): <ul style="list-style-type: none"> – cerámica – secado de machos en la fundición – secado de productos textiles – productos comerciales (libros, papel, encolado y secado) – productos alimenticios (post cocción, descongelación de carnes y pescados) – secado de solventes – secado y encolado de maderas (chapa y madera de construcción) – secado dieléctrico general – calentamiento de plásticos (matrizado y estampado en relieve) Aplicaciones médicas: <ul style="list-style-type: none"> – diatermia médica (27 MHz) – formación de imágenes por resonancia magnética (10-100 MHz en grandes salas apantalladas)
100-1 000	Elaboración de productos alimenticios (915 MHz) Aplicaciones médicas (433 MHz) Generadores de plasma RF Vulcanización del caucho (915 MHz)
Superior a 1 000	Generadores de plasma RF Hornos de microondas domésticos (2 450 MHz) Hornos de microondas comerciales (2 450 MHz) Vulcanización del caucho (2 450 MHz) Equipos de secado por rayos ultravioleta excitados por RF

4 Características de radiación

Generalmente, las características de la radiación de los equipos ICM dependen de la frecuencia de funcionamiento, de la forma de onda de la fuente de RF, de la estructura del radiador, de la estructura que rodea al radiador, etc. Además, en las características de radiación también influye la distancia a la que se encuentran los equipos ICM. Según la teoría de antenas convencional, el espacio que rodea al radiador se subdivide en tres regiones:

- a) campo cercano reactivo;
- b) campo cercano radiante (Fresnel);
- c) regiones de campo lejano (Fraunhofer), como muestra la Fig.1. Por tanto, las características de radiación que repercuten en los dispositivos de radiocomunicaciones pueden ser distintas según la distancia entre elementos radiadores y elementos interferidos.

FIGURA 1
Regiones de campo de una antena



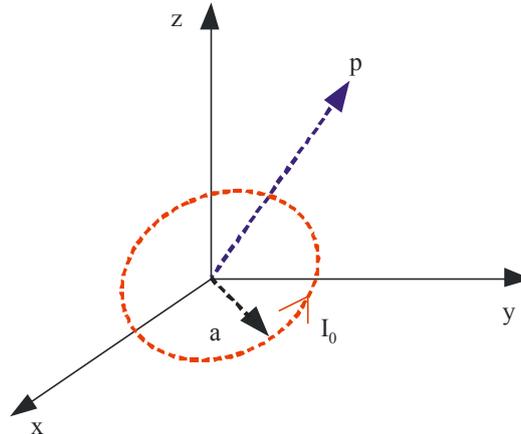
I. SM.2180-01

4.1 Calentamiento por inducción

El calentamiento por inducción consiste en un proceso utilizado para soldar, endurecer o ablandar elementos metálicos u otros materiales conductores haciendo uso de la teoría del transformador. Cuando se aplica una corriente eléctrica alterna al primario de un transformador, se crea un campo magnético alterno. De acuerdo con la ley de Faraday, si el secundario del transformador está situado en el interior de un campo magnético, se producirá una corriente eléctrica que se denomina corriente de inducida. En los equipos de calentamiento por inducción básicos, la bobina actúa como primario del transformador y el conductor que debe calentarse es el secundario en cortocircuito.

Como la forma de la bobina de calentamiento por inducción es similar a la de una antena de bucle circular, las características de radiación de dicha bobina también son similares a las de dicha antena de bucle circular. Además, dado que la frecuencia de funcionamiento para el calentamiento por inducción es inferior a 1 MHz, la longitud de onda es mayor de 300 m, valor muy elevado si se compara con el radio de la bobina de calentamiento por inducción. Por tanto, esta bobina puede considerarse como una antena de bucle circular.

FIGURA 2
Geometría para una antena de bucle circular



I. SM.2180-02

Cuando un sistema de radiocomunicaciones se encuentra situado cerca de una bobina de calentamiento por inducción ($kr \ll 1$), los campos electromagnéticos predominantes que influyen en el dispositivo pueden aproximarse mediante las siguientes expresiones:

$$H_r = \frac{a^2 I_0 \cos \theta}{2r^3} e^{-jkr} \quad (1)$$

$$H_\theta = \frac{a^2 I_0 \operatorname{sen} \theta}{4r^3} e^{-jkr} \quad (2)$$

$$E_\phi = -j \frac{ka^2 I_0 \operatorname{sen} \theta}{4r^2} e^{-jkr} \quad (3)$$

$$E_\phi = E_r = E_\theta = 0 \quad (4)$$

siendo a el radio de la bobina de calentamiento por inducción, k el número de onda y r la distancia de medición.

Los dos campos electromagnéticos se encuentran en fase. Sin embargo, están en cuadratura con relación al campo eléctrico. Por consiguiente, no hay ningún flujo de potencia promediado en el tiempo asociado a ellos. Además, como $r \rightarrow 0$ la intensidad del campo magnético es mucho más dominante que la del campo eléctrico. En consecuencia, las ecuaciones (1)-(4) se refieren a los campos magnéticos cuasi-estacionarios.

Cuando la medición se realiza lejos del sistema de calentamiento por inducción ($kr \gg 1$), los campos electromagnéticos predominantes pueden aproximarse mediante las siguientes expresiones:

$$H_{\theta} = - \frac{(ka)^2 I_0 \operatorname{sen} \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (5)$$

$$E_{\phi} = \eta \frac{(ka)^2 I_0 \operatorname{sen} \theta}{4r} e^{-jkr} \quad (6)$$

$$E_r = H_{\phi} = E_r = E_{\theta} = 0 \quad (7)$$

Los campos eléctrico y magnético están en fase y son inversamente proporcionales a r . Los campos eléctrico y magnético del bucle pequeño en la región de campo lejano son perpendiculares entre sí y transversales a la dirección de propagación. Forman una onda plana esférica uniforme cuya impedancia de onda es igual a la impedancia intrínseca del medio.

4.2 Calentamiento dieléctrico

Los equipos de calentamiento dieléctrico tienen como objetivo calentar materiales dieléctricos tales como alimentos, fibras textiles, madera, etc. Esto se logra mediante una radiación de microondas que calienta las moléculas polarizadas situadas en el interior del material dieléctrico. El equipo de calentamiento dieléctrico consta de un generador de potencia de RF tal como un magnetrón, una cavidad o cámara, un guíaondas y un controlador de potencia de RF. Por regla general, la cavidad se compone de placas metálicas y las microondas producidas por el magnetrón se reflejan en las paredes metálicas de dicha cavidad donde son absorbidas por los dieléctricos.

Si el equipo de calentamiento dieléctrico está totalmente encerrado en una estructura metálica, se supone que dicho equipo no emite ninguna radiación. Como los materiales dieléctricos se introducen en la cavidad a través de una puerta, las fugas de microondas se producen a través del pequeño hueco provocado por la apertura y cierre de la puerta, que actúa como antena de apertura. Por consiguiente, las características de radiación del equipo de calentamiento dieléctrico son similares a las de las antenas de apertura.

Por ejemplo, la longitud de onda de las microondas de los equipos de calentamiento dieléctrico oscila entre 10 cm y 30 m. Los hornos de microondas domésticos utilizan una frecuencia de 2,45 GHz y su longitud de onda es de unos 12,2 cm. Como esta longitud de onda no es mayor que las dimensiones del equipo, el tamaño o la longitud de la apertura resultan comparables a la longitud de onda. La radiación emitida por el equipo de calentamiento dieléctrico puede actuar como la radiación procedente de un sistema de antenas en fase.

4.3 Aplicaciones médicas

La formación de imágenes por resonancia magnética (IRM), o la formación de imágenes por resonancia magnética nuclear (IRMN), consiste fundamentalmente en una técnica médica de formación de imágenes utilizada normalmente en radiología para visualizar la estructura interna y las funciones del cuerpo humano. A diferencia de la tomografía computerizada (TC), no emplea radiación ionizante sino un poderoso campo magnético para alinear la magnetización nuclear de los átomos de hidrógeno (normalmente) presentes en el agua del cuerpo. Los campos de radiofrecuencia (RF) se utilizan para alterar de forma sistemática el alineamiento de esta magnetización, lo que hace que los núcleos del hidrógeno produzcan un campo magnético giratorio detectable mediante exploración («scanner»). Normalmente, el sistema de IRM se encuentra

instalado en una amplia sala apantallada para protegerse de los campos electromagnéticos exteriores y también de las emisiones del campo de RF exterior.

Como la bobina de RF en el equipo de IRM forma un bucle rectangular curvado, las características de radiación son similares a las de las antenas de bucle. La longitud de onda de la señal de RF para el equipo de IRM oscila entre 3 m y 30 m y es comparable en tamaño al de una bobina de RF. Por tanto, las características de radiación son similares a las de una antena de bucle típica.

La sala apantallada donde se ubica el equipo de IRM puede asimilarse a una cavidad con pequeños huecos y cables para la comunicación y la alimentación de energía eléctrica. La bobina de RF en dicho equipo de IRM se convierte en una fuente que excita la cavidad y la radiación escapa de la sala apantallada a través de los pequeños huecos y cables. Por consiguiente, las características de radiación de los equipos de IRM son similares a los de una antena de apertura y una antena de hilo.

5 Análisis de la posible interferencia

Este punto se refiere a:

- 1) los modelos de interferencia del CISPR;
- 2) los límites establecidos en la Publicación CISPR 11;
- 3) los resultados obtenidos en algunas mediciones del campo de radiación.

5.1 Modelos de interferencia del CISPR

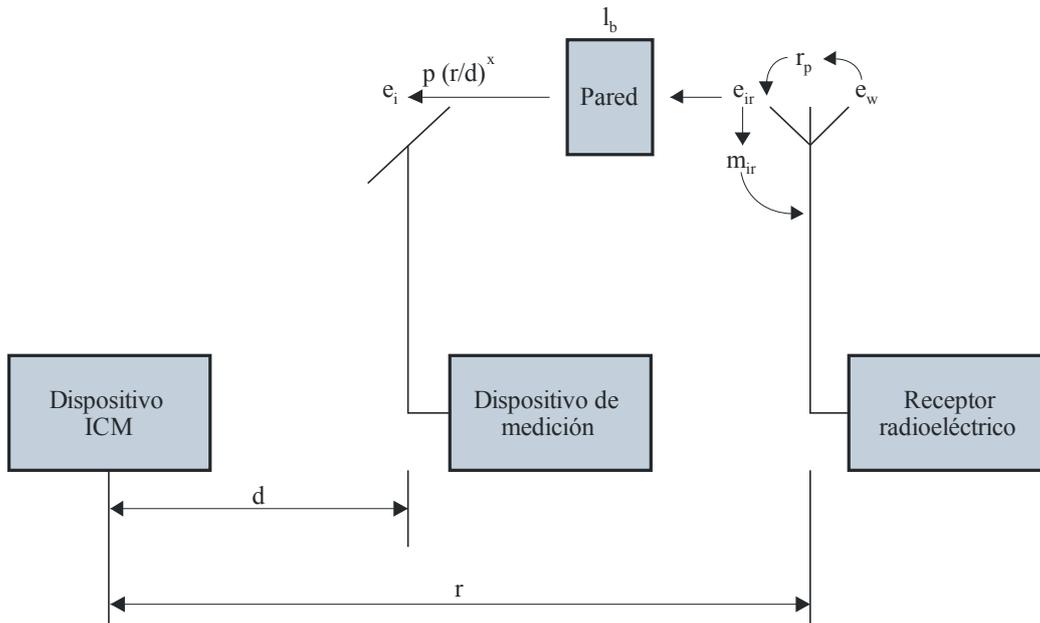
Este punto presenta el modelo de interferencia probabilístico elaborado por el CISPR a fin de proteger a los receptores de radiocomunicaciones que se encuentran próximos a los dispositivos ICM. La publicación CISPR 16-4-4 presenta dos modelos por debajo y por encima de 1 GHz para determinar los límites de radiación emitida por dispositivos ICM utilizando la teoría de probabilidades. Estos modelos del CISPR constituyen herramientas útiles para evaluar la repercusión de los dispositivos ICM en los servicios de radiocomunicaciones.

5.1.1 Modelo básico

Los modelos del CISPR se basan en un enfoque estadístico. La Fig. 3 ilustra el modelo básico del CISPR para determinar los límites de radiación en los dispositivos ICM. En dicha Fig. 3, e_w es la intensidad de campo de la señal deseada que debe protegerse a una distancia de r metros en la posición de la antena del receptor interferido; e_{ir} es la intensidad de campo de la interferencia admisible en la posición de la antena del receptor interferido y se calcula mediante la fórmula $e_{ir} = e_w / r_p$, donde r_p es la relación de protección; m_{ir} es el factor para adaptar la polarización entre la polarización de e_{ir} y la polarización de la antena del receptor interferido; l_b es el factor de apantallamiento de los edificios o de otros obstáculos, d es la distancia entre el dispositivo de medición y el dispositivo ICM y x es el coeficiente de propagación de las ondas.

FIGURA 3

Diagrama de bloques del modelo del CISPR para calcular los límites de radiación de los dispositivos ICM



I. SM.2180-03

Utilizando estos parámetros, la intensidad de campo perturbador regulada para las fuentes de perturbación a una distancia de d representada por e_i se calcula como sigue:

$$e_i = p [(e_w/r_p) m_{ir} l_b (r/d)^x] \quad (8)$$

donde:

p es el factor de probabilidad estadística complejo, determinado mediante el producto $p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot p_6 \cdot p_7 \cdot p_8 \cdot p_9 \cdot p_{10}$ de la forma siguiente:

- p_1 : probabilidad de que el lóbulo principal de la radiación se encuentre en la dirección del receptor interferido;
- p_2 : probabilidad de que las antenas receptoras directivas presenten un máximo en dirección de la fuente perturbadora;
- p_3 : probabilidad de que el receptor víctima sea fijo;
- p_4 : probabilidad de que el equipo genere una señal perturbadora a una frecuencia crítica;
- p_5 : probabilidad de que el armónico correspondiente se encuentre por debajo de un valor límite;
- p_6 : probabilidad de que el tipo de señal perturbadora generada produzca un efecto significativo en el sistema de recepción;
- p_7 : probabilidad de que se produzca un funcionamiento simultáneo de la fuente perturbadora y el sistema de recepción;
- p_8 : probabilidad de que la fuente perturbadora se encuentre a una distancia a la que probablemente aparezca interferencia;
- p_9 : probabilidad de que el valor de la radiación en el borde de la zona de servicio para el servicio protegido alcance exactamente el límite de la perturbación de RF; y
- p_{10} : probabilidad de que los edificios provoquen una atenuación.

Expresada en forma logarítmica, la ecuación (8) puede escribirse así:

$$E_i = P + E_w - R_p + M_{ir} + L_b + x \cdot 20 \log(r/d) \quad (9)$$

5.1.2 Modelo del CISPR para la gama de frecuencias por debajo de 1 GHz

Se supone un valor de p igual a 1 para frecuencias inferiores a 1 GHz. La probabilidad de que el valor real de relación señal/interferencia, R , en el puerto de entrada de la antena de un receptor sea mayor que la mínima relación señal/interferencia admisible, R_p , es igual a una calidad de recepción predeterminada, según expresa la siguiente ecuación:

$$\Pr\{R(m_R, s_R) > R_p\} = q \quad (10)$$

donde:

- $\Pr\{ \}$: es la función de probabilidad
- $R(m_R, s_R)$: es la relación señal/interferencia verdadera en función de su valor medio (m_R) y su desviación típica (s_R)
- R_p : es la mínima relación señal/interferencia admisible (relación de protección) y el valor de r_p expresado en unidades logarítmicas
- q : es un valor especificado que representa la fiabilidad de las comunicaciones.

Utilizando el modelo mostrado en la Fig. 3, R puede expresarse en términos de la señal deseada, la señal perturbadora, las pérdidas de propagación y la ganancia de antena, como sigue:

$$R = E_w(m_w, s_w) + G_w(m_{Gw}, s_{Gw}) - [E_i(m_i, s_i) + G_i(m_{Gi}, s_{Gi}) - L_o(m_{Lo}, s_{Lo}) - L_b(m_{Lb}, s_{Lb}) + M_{ir}(m_{Mir}, s_{Mir})] \text{ dB} \quad (11)$$

donde:

- E_w : es la intensidad de campo real de la señal deseada en la posición de la antena del receptor radioeléctrico en función de su valor medio (m_w) y su desviación típica (s_w)
- E_i : es la intensidad de campo de la señal perturbadora a la distancia de medición d en un emplazamiento de prueba en función de su valor medio (m_i) y su desviación típica (s_i)
- G_w : es el valor real de la ganancia de antena del receptor radioeléctrico para la señal deseada en función de su valor medio (m_{Gw}) y su desviación típica (s_{Gw})
- G_i : es el valor real de la ganancia de antena del receptor radioeléctrico para la señal perturbadora en función de su valor medio (m_{Gi}) y su desviación típica (s_{Gi})
- L_o : es el valor real del factor que tiene en cuenta la atenuación de la intensidad de campo perturbadora en su trayecto de propagación hasta la posición de la antena del receptor radioeléctrico cuando se propaga a través del espacio libre sin obstáculos en función de su valor medio (m_{Lo}) y su desviación típica (s_{Lo}) en relación con la distancia de medición d en el emplazamiento de prueba:

$$L_o = x \cdot 20 \log(r/d)$$

- L_b : es el valor real del factor que tiene en cuenta la atenuación de la intensidad de campo perturbadora causada por los obstáculos en su trayecto de propagación en función de su valor medio (m_{Lb}) y su desviación típica (s_{Lb}) con respecto al valor de propagación en espacio libre.

M_{ir} : es el valor real del factor para adaptar la polarización entre la intensidad de campo perturbadora e_{ir} y la antena receptora del receptor interferido en función de su valor medio (m_{Mir}) y su desviación típica (s_{Mir}). Cuando la polarización de la antena de recepción está adaptada a la polarización de e_{ir} , el valor absoluto (m_{ir}) es igual a 1 y pasa a ser menor de 1 en el resto de los casos. Como M_{ir} y el valor medio correspondiente (m_{Mir}) se expresan en unidades logarítmicas, sus cantidades son iguales o inferiores a 0 dB. Por consiguiente, siempre aparece un signo negativo.

Si las variables aleatorias (VA) del término de la derecha de la ecuación (11) son gaussianas y mutuamente independientes, la distribución de la VA es gaussiana con una media (m_R) y una desviación típica (s_R):

$$m_R = m_w + m_{Gw} - m_i - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} \quad (12a)$$

$$s_R = (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (12b)$$

La ecuación (11) puede normalizarse como sigue:

$$P[R(m_R, s_R) > R_p] = F[-(R_p - m_R)/s_R] = q \quad (13)$$

En este caso, $F[]$ es la función distribución (FD) gaussiana de media $m = 0$ y desviación típica $s = 1$. Utilizando la inversa de la FD gaussiana, denominada $F^{-1}[]$, la media de R se obtiene mediante la ecuación:

$$m_R = R_p + t_q s_R \quad (14)$$

donde $t_q = F^{-1}[q]$.

A continuación, entrando con (12a) y (12b) en (14), y tras algunas operaciones, se obtiene el siguiente resultado.

$$m_i = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + m_{Lo} + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p - t_q (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (15)$$

Como la media de la VA E_i estará por debajo del límite, E_{Limit} , se obtiene:

$$\Pr\{E_i < E_{Limit}\} = F[(E_{Limit} - m_i)/s_i] = b \quad (16)$$

Aplicando $F^{-1}[]$ a (16), E_{Limit} se expresa como sigue:

$$E_{Limit} = m_i + t_b s_i \quad (17)$$

El término t_b es $F^{-1}[b]$. En este caso, m_{Lo} puede expresarse así:

$$m_{Lo} = x \cdot 20 \log(r/d) \quad (18)$$

El factor x es el coeficiente de propagación de ondas que determina la tasa de atenuación en espacio libre verdadera.

Por último, combinando (15), (16) y (17), E_{Limit} se calcula de la forma siguiente:

$$E_{Limit} = m_w + m_{Gw} - m_{Gi} + x \cdot 20 \log(r/d) + m_{Lb} - m_{Mir} - R_p + t_b s_i - t_q (s_w^2 + s_i^2 + s_{Gw}^2 + s_{Gi}^2 + s_{Lo}^2 + s_{Lb}^2 + s_{Mir}^2)^{1/2} \quad (19)$$

En general, t_a y t_b toman el valor 0,84, respectivamente, de conformidad con la Recomendación CISPR 46/1 (véase CISPR 16-4-3), para satisfacer la condición de que el 80 % de los dispositivos fabricados en serie deben cumplir el límite de perturbación.

El Cuadro 2 ilustra un ejemplo representativo del límite calculado utilizando el modelo del CISPR por debajo de 1 GHz.

CUADRO 2

Ejemplo de límite calculado mediante el modelo del CISPR por debajo de 1 GHz

Intensidad de campo real de la señal deseada, E_w		Valor real de la ganancia de antena del receptor radioeléctrico para la señal deseada, G_w	
Valor medio, m_w (dB(μ V/m))	Desviación típica, s_w (dB)	Valor medio, m_{G_w} (dB)	Desviación típica, s_{G_w} (dB)
16	2	0	0,1
Valor real de la ganancia de antena del receptor radioeléctrico para la señal perturbadora, G_i		Valor real del factor que tiene en cuenta la atenuación de la intensidad de campo perturbadora, $L_o = x * 20 * \log_{10}(r/d)$	
Valor medio, m_{G_i} (dB)	Desviación típica, s_{G_i} (dB)	Valor medio, m_{L_o} (dB)	Desviación típica, s_{L_o} (dB)
0	0,1	16,47817482	0,1
Valor real del factor que tiene en cuenta la atenuación de la intensidad de campo perturbadora causada por los obstáculos, L_b		Valor real del factor para adaptación de la polarización, $M_{ir_}$ (dB)	
Valor medio, m_{L_b} (dB)	Desviación típica, s_{L_b} (dB)	Valor medio, $m_{M_{ir_}}$ (dB)	Desviación típica, $s_{M_{ir_}}$ (dB)
1	0,1	-0,880	0,1
Intensidad de campo de la señal perturbadora, E_i		Límite de la perturbación medida, E_{limit} (dB(μ V/m))	
Valor medio, m_i (dB(μ V/m))	Desviación típica, s_i (dB)		
21,948	0,1	23,7496	

Distancia de medición, d (m)	Distancia media entre la fuente perturbadora y la antena receptora, r (m)
3	20
Exponente que determina la tasa de atenuación real en espacio libre, x (1 ó 1~1,5)	Relación de protección, R_p (dB)
1	9
$a = Pr\{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$	$b = Pr\{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$
0,84	0,84

5.1.3 Modelo del CISPR para la gama de frecuencias por encima de 1 GHz

En la gama de frecuencias superiores a 1 GHz, se consideran siete probabilidades o factores de influencia en la publicación CISPR 16-4-4. Sin embargo, el modelo de interferencia estadístico se obtiene a partir de un método similar al del § 5.1.2:

$$E_{Limit} = m_w - R_p + m_{P1} + m_{P2} + m_{P3} + m_{P4} + m_{P5} + m_{P6} + m_{P7} + t_b s_i - t_a (s_{P1}^2 + s_{P2}^2 + s_{P3}^2 + s_{P4}^2 + s_{P5}^2 + s_{P6}^2 + s_{P7}^2)^{1/2} \quad (20)$$

donde:

- E_{Limit} : es el valor medio de la intensidad de campo perturbadora admisible a una distancia especificada, d , desde la fuente perturbadora
- m_w : es el mínimo valor de la intensidad de campo deseada en el borde de la zona de servicio del servicio de radiocomunicaciones correspondiente
- R_p : es el mínimo valor aceptable de la relación señal/perturbación (es decir, la relación de protección) en el puerto de la antena del receptor o el punto de alimentación
- m_{P1}/s_{P1} : son los valores medio y de desviación típica esperados en los que el lóbulo principal de la intensidad de campo perturbador no se encuentra en la dirección del receptor interferido
- m_{P2}/s_{P2} : son los valores medio y de desviación típica esperados en los que la antena receptora directiva no tiene su máximo en la dirección de la fuente perturbadora
- m_{P3}/s_{P3} : son los valores medio y de desviación típica esperados para los que una relación señal/ruido del receptor móvil en la zona de servicio radioeléctrica respectiva puede mejorarse manteniendo una cierta distancia hasta la fuente perturbadora
- m_{P4}/s_{P4} : son los márgenes medio y de desviación típica esperados para los que la señal perturbadora se encuentra por debajo del límite
- m_{P5}/s_{P5} : son los valores medio y de desviación típica esperados para los que el tipo de señal perturbadora generada tendrá una repercusión significativa sobre el sistema de recepción
- m_{P6}/s_{P6} : son los valores medio y de desviación típica esperados para los que la fuente perturbadora está situada a una distancia del sistema receptor en la que es probable que aparezca interferencia
- m_{P7}/s_{P7} : son los valores medio y de desviación típica esperados para los que los edificios proporcionan un cierto grado de atenuación adicional.

En CISPR 16-4-4, m_{P5} se calcula como sigue:

$$a) \quad B_{deseada} < B_{ruido} < B_{med}$$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{deseada}/B_{ruido})$$

donde:

- $B_{deseada}$: es la anchura de banda del receptor radioeléctrico considerado para la señal deseada
- B_{ruido} : es la anchura de banda de la perturbación en banda ancha
- B_{med} : es la anchura de banda de medición del dispositivo de medida.

Las relaciones son las siguientes:

b) $B_{med} < B_{ruido} < B_{deseada}$

$$m_{P5} = 10 \log(B_{ruido}/B_{med})$$

c) $B_{ruido} > B_{med}$ y $B_{deseada}$, respectivamente,

$$m_{P5} = 10 \log(B_{deseada}/B_{med})$$

El valor de m_{P6} se determina mediante la fórmula $x \cdot 20 \log(r/d)$ y los valores exactos de otros parámetros utilizados en la ecuación (20) desafortunadamente se ignoran. Se considera que salvo m_{P5} y m_{P6} los parámetros se determinan mediante experimentos prácticos y experiencia.

El Cuadro 3 es un ejemplo representativo del límite calculado utilizando el modelo del CISPR por encima de 1 GHz.

CUADRO 3

Ejemplo de límite calculado mediante el modelo del CISPR por encima de 1 GHz

Intensidad de campo real de la señal deseada, E_W		Ganancia de la fuente perturbadora, P_1 (dB)	
Valor medio, m_w (dB(μ V/m))	Desviación típica, s_w (dB)	Valor medio, m_{P1} (dB)	Desviación típica, s_{P1} (dB)
16	2	3	0,1
Ganancia de la antena interferida, P_2 (dB)		El elemento interferido es móvil, P_3 (dB)	
Valor medio, m_{P2} (dB)	Desviación típica, s_{P2} (dB)	Valor medio, m_{P3} (dB)	Desviación típica, s_{P3} (dB)
3	0,1	5	0,1
Emisión por debajo del límite, P_4 (dB)		Tipo de corrección en la emisión de banda ancha, P_5 (dB)	
Valor medio, m_{P4} (dB)	Desviación típica, s_{P4} (dB)	Valor medio, m_{P5} (dB)	Desviación típica, s_{P5} (dB)
1	0,1	1,000	0,1
Distancia al elemento interferido, P_6 (dB)		Atenuación causada por los edificios, P_7 (dB)	
Valor medio, m_{P6} (dB)	Desviación típica, s_{P6} (dB)	Valor medio, m_{P7} (dB)	Desviación típica, s_{P7} (dB)
16,478	0,1	4,000	0,1
Límite de la perturbación medida, E_{Limit} (dB(μ V/m))			
40,3398			

CUADRO 3 (Fin)

Distancia de medición, d (m)		Distancia media entre la fuente perturbadora y la antena receptora, r (m)
3		20
Exponente que determina la tasa de atenuación real en espacio libre, x (1 ó 1~1,5)		Relación de protección, R_p (dB)
1		9
$a = Pr \{R \geq R_p\}, t_a = F^{-1}(a)$		$b = Pr \{E_i \leq E_{Limit}\}, t_b = F^{-1}(b)$
0,84		0,84
s_i		
0,1		
B_w, B_n, B_m mps		
$B_w < B_n < B_m$	$B_m < B_n < B_w$	$B_m < B_n$ o $B_m < B_n$
$10 \log_{10}(B_w/B_n)$	$10 \log_{10}(B_n/B_m)$	$10 \log_{10}(B_w/B_m)$

* B_w : es la anchura de banda del servicio de radiocomunicaciones considerado para la señal deseada.

B_n : es la anchura de banda de la perturbación de banda ancha.

B_m : es la anchura de banda del receptor de medición.

5.2 Examen de los límites del CISPR

La Publicación 11 del CISPR presenta los límites radiados de los equipos ICM en términos de la magnitud de los vectores del campo magnético o del campo eléctrico. Las mediciones de los límites se llevan a cabo con arreglo a un modo de detección específico del receptor de medición, es decir, detección de cresta, de cuasi-cresta, de valor medio y ponderada. Para determinar si estos límites pueden proteger a los servicios de radiocomunicaciones contra los equipos ICM, es necesario convertir la intensidad de campo expresada en $(dB(\mu V/m))$ a la potencia recibida expresada en dBm.

$$P_R(\text{dBm}) = E(\text{dB}(\mu\text{V/m})) + G_R(\text{dBi}) - 20 \log F(\text{MHz}) - 77,2 \quad (21)$$

donde:

P_R : es la potencia recibida de la estación radioeléctrica (dBm)

G_R : es la ganancia de la antena de recepción (dBi)

F : es la frecuencia recibida de la estación radioeléctrica (MHz).

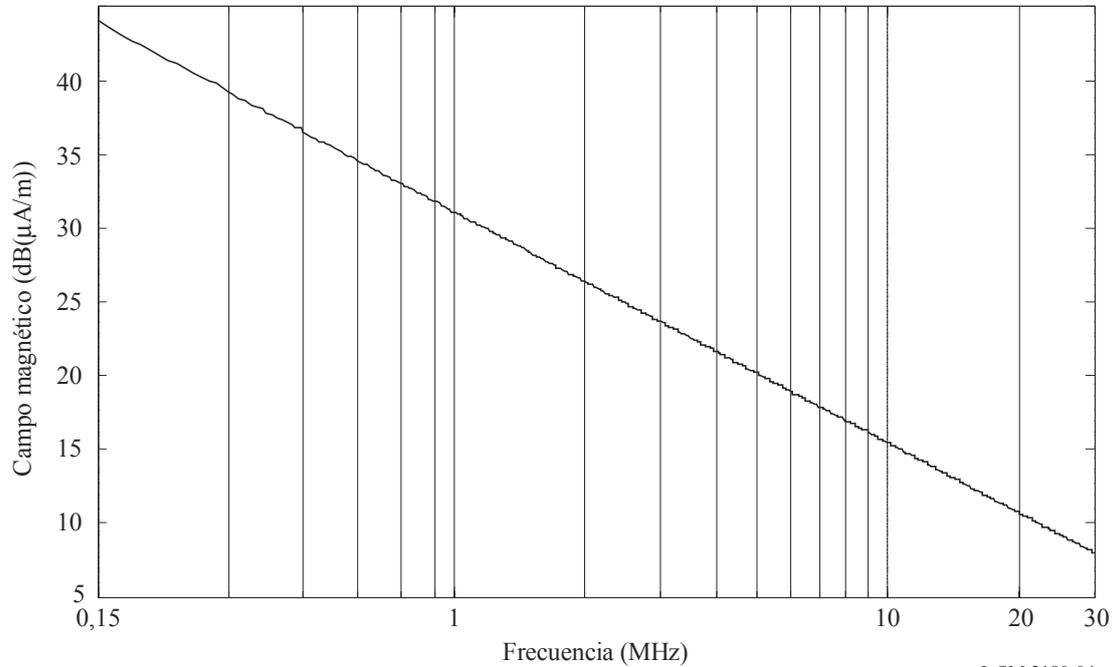
La clasificación de los límites de CISPR 11 está compuesta por una combinación de los Grupos 1, 2 y Clases A, B. Las definiciones de los Grupos 1, 2 y las Clases A, B figuran en los § 4.1 y 4.2 de la Publicación 11 del CISPR (Edición 4). El Grupo 1 y las Clases A y B son dispositivos ICM que pueden situarse cerca de las estaciones de radiocomunicaciones, sin embargo, la mayoría de los dispositivos ICM que funcionan en las proximidades de dichas estaciones son Grupo 2 y Clase B.

Dado que el Grupo 2 y Clase B se considera un entorno donde los equipos ICM pueden utilizarse cerca de los dispositivos de radiocomunicaciones, este punto se refiere a los límites de esta combinación.

Las tres siguientes Figuras ilustran los límites de radiación indicados en los Cuadros 4, 7 y 8 de la Publicación 11 del CISPR (Edición 4, junio de 2004), respectivamente.

FIGURA 4

Límites del campo magnético del Grupo 2 y Clase B por debajo de 30 MHz
(La distancia de medición es 10 m y el modo de detección es de cuasi-cresta)



I. SM.2180-04

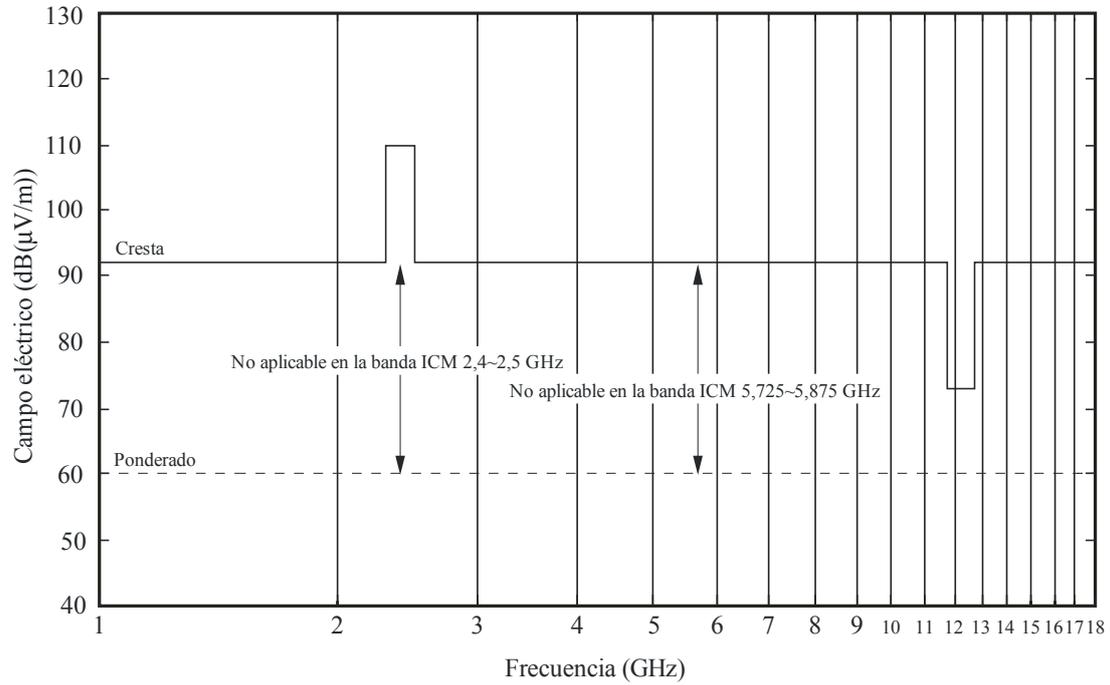
FIGURA 5

Límites del campo eléctrico del Grupo 2 y Clase B entre 30 MHz y 1 GHz
(La distancia de medición es 10 m y el modo de detección es de cuasi-cresta y de valor medio para equipos excitados por magnetrón)*

* En la transición se aplica el límite más estricto.

FIGURA 6

Límites del campo eléctrico del Grupo 2 y Clase B entre 1 GHz y 18 GHz
(La distancia de mediación 3 m y el modo de detección es de cresta^{**})

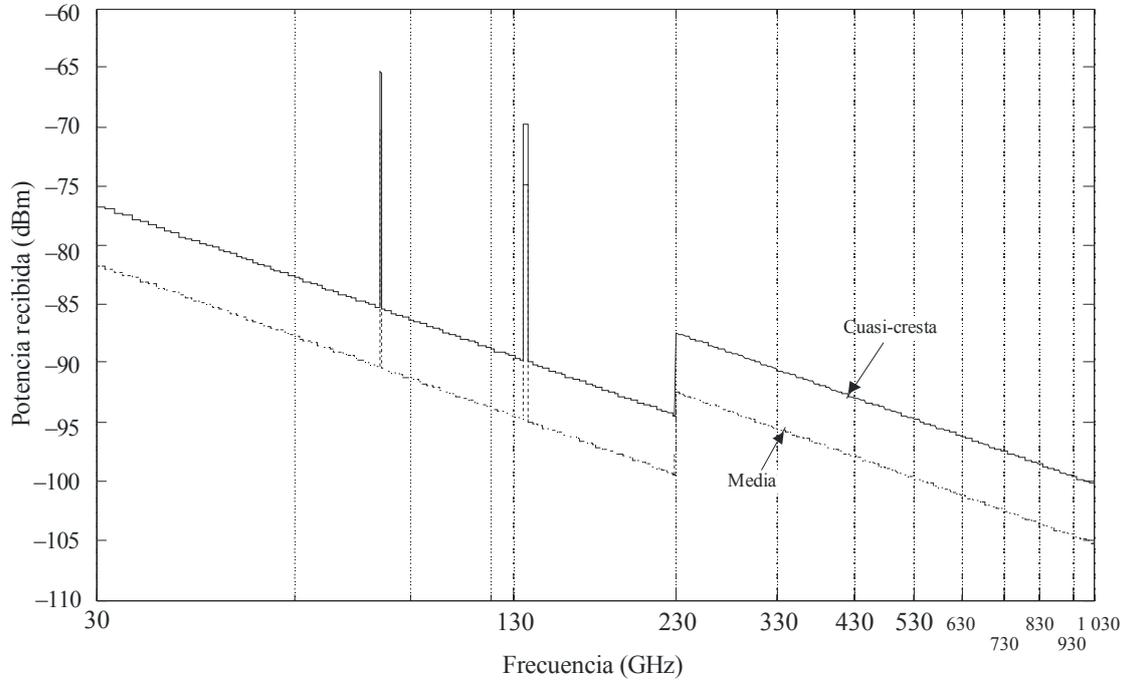


I. SM.2180-06

- * La medición del valor de cresta requiere una anchura de banda de resolución de 1 MHz y una anchura de banda de la señal de vídeo mayor o igual que 1 MHz.
- ** Las mediciones del valor ponderado requieren una anchura de banda de resolución de 1 MHz y una anchura de banda de vídeo de 10 Hz.

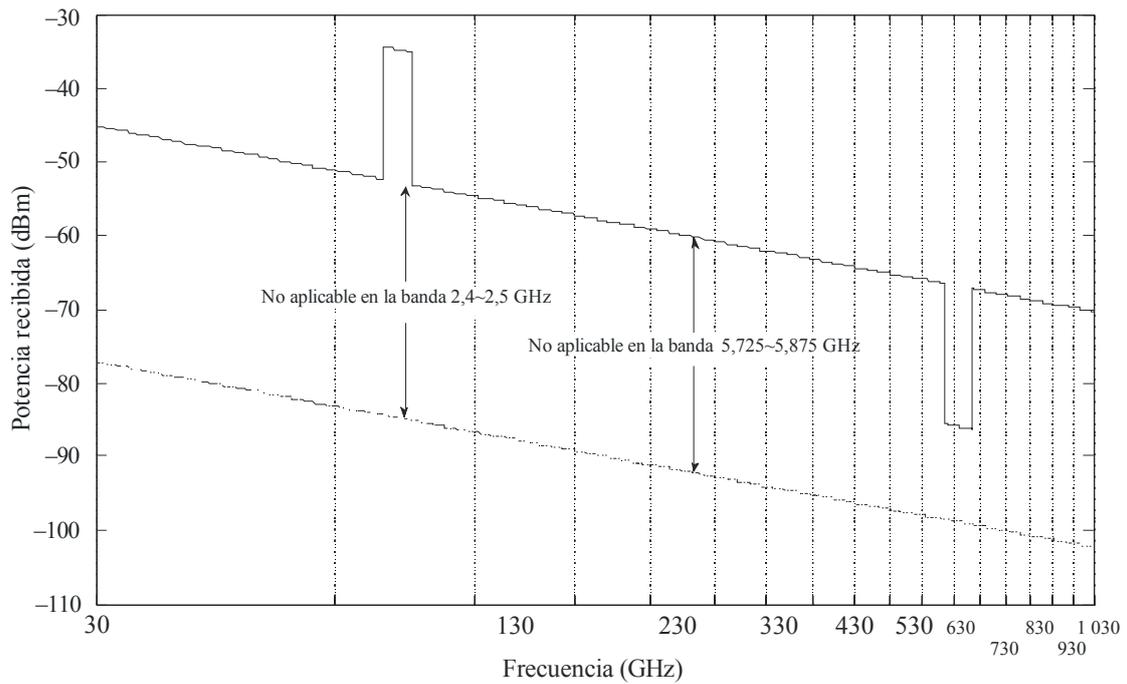
Las Fig. 7 y 8 ilustran la potencia recibida de una estación radioeléctrica con una ganancia de antena de 0 dBi en aplicación de la fórmula de conversión (20) centrada en la conversión de los límites del campo eléctrico.

FIGURA 7
 Conversión de los límites del campo eléctrico del Grupo 2 y Clase B entre 30 MHz y 1 GHz



I. SM.2180-07

FIGURA 8
 Conversión de los límites del campo eléctrico del Grupo 2 y Clase B entre 1 GHz y 18 GHz



I. SM.2180-08

En la Fig. 8, cuando se compara con la otra potencia recibida aplicada a las bandas de frecuencia de 1~18 GHz, la potencia recibida en la banda 2,3~2,4 GHz es tan elevada que puede aparecer interferencia en el servicio de radiocomunicaciones. La Publicación 11 del CISPR incluye una nota relativa a la banda de frecuencias 2,3-2,4 GHz que indica que las administraciones pueden requerir límites de radiación más estrictos que los señalados en CISPR 11 a fin de evitar las interferencias perjudiciales en el servicio de radiocomunicaciones.

De acuerdo con los últimos artículos referentes a la interferencia electromagnética, los actuales límites de emisión señalados por el CISPR se han establecido para proteger los servicios de radiocomunicaciones analógicos en vez de los servicios de radiocomunicaciones digitales. La relación S/N de los servicios analógicos es distinta de la de los servicios digitales. Con respecto a la influencia de los equipos ICM en los servicios de radiocomunicaciones digitales, es preciso que el UIT-R señale al CISPR las características y los criterios de protección de los sistemas de radiocomunicaciones digitales. Por tanto, es necesario determinar si los actuales límites indicados en la Publicación 11 del CIPR garantizan o no la adecuada protección de los receptores de radiocomunicaciones digitales.

5.3 Características y criterios de protección de los servicios de radiocomunicaciones

Con objeto de evaluar la degradación de la calidad de funcionamiento de los servicios de radiocomunicaciones debida a la radiación generada por los equipos ICM, es necesario conocer los criterios de protección y las características técnicas de los sistemas de radiocomunicaciones potencialmente afectados. En el Apéndice A8 del Informe UIT-R SM.2057 (Studies related to the impact of devices using ultra wideband technology on radiocommunication services) aparecen las Recomendaciones e Informes del UIT-R pertinentes. Estas listas puede que no estén actualizadas puesto que algunas de estas Recomendaciones e Informes pueden haber sido modificados o puede haber cambiado su situación. Dicho Apéndice también contiene las características técnicas y los criterios de protección de los posibles sistemas afectados según las contribuciones recibidas y las declaraciones de coordinación de diversos Grupos de Trabajo del UIT-R en el periodo de estudios. Estas características y estos criterios están destinados a facilitar los cálculos de interferencia de los dispositivos que emplean tecnología de banda ultraamplia, sin embargo, también son aplicables en el estudio de las emisiones de los equipos ICM. Los Grupos de Trabajo del UIT-R responsables pueden haber elaborado o adoptado distintos valores desde entonces.

En el transcurso del estudio de las emisiones de los dispositivos de corto alcance, el Grupo de Trabajo 1A recibió de otros Grupos de Trabajo información relativa a los criterios de protección, las características y los objetivos de calidad de servicio para diversos servicios, como sigue:

- Recomendación UIT-R SM.1754 – Técnicas de medición de las transmisiones de banda ultraancha.
- Recomendación UIT-R SM.1755 – Características de la tecnología de ultrabanda ancha.
- Recomendación UIT-R SM.1756 – Normativa para la implantación de dispositivos que utilizan tecnología de banda ultraancha.
- Recomendación UIT-R SM.1757 – Efectos de los aparatos que utilizan la tecnología de banda ultraancha en los sistemas de servicios de telecomunicaciones.
- Recomendación UIT-R RS.1346 – Compartición entre el servicio de ayudas a la meteorología y los sistemas de comunicaciones de implantación médica (MICS) que funcionan en el servicio móvil en la banda de frecuencias 401-406 MHz.
- Report ITU-R SM.2057 – Studies related to the impact of devices using ultra-wideband technology on radiocommunication services.

- Recomendación UIT-R M.1739 – Criterios de protección para los sistemas de acceso inalámbrico, incluidas las redes radioeléctricas de área local, que funcionan en el servicio móvil de conformidad con la Resolución 229 (CMR-03) en las bandas 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 530 MHz y 5 470-5 725 MHz.
- Recomendación UIT-R M.1767 – Protección de los sistemas móviles terrestres contra la interferencia causada por los sistemas de radiodifusión de audio y de vídeo digital terrenal en las bandas compartidas de ondas métricas y decimétricas atribuidas a título primario.
- Recomendación UIT-R M.1823 – Características técnicas y operacionales de los sistemas móviles terrestres celulares digitales para los estudios de compartición.
- Report ITU-R M.2039-1 – Characteristics of terrestrial IMT-2000 systems for frequency sharing/interference analyses, contains some protection requirements like SNR values, receiver reference sensitivities and interference thresholds for the various IMT-2000 systems.
- Recomendación UIT-R BT.1786 – Criterios para evaluar los efectos de la interferencia al servicio de radiodifusión (SR) terrenal.
- Report ITU-R BS.2104 – FM modulator interference to broadcast services.

El GT 4A está elaborando un conjunto de informaciones pertinentes incluidas las características del sistema y los objetivos de calidad del servicio para el SFS y el SRS en la gama 3,4-31 GHz a fin de permitir al GT 1A realizar sus estudios técnicos y evaluar la repercusión de los dispositivos RCA sobre el SFS y el SRS y los medios necesarios para garantizar la adecuada protección de estos servicios (véase el Apéndice del Documento 1A/145 el conjunto de informaciones pertinentes).

- Recomendación UIT-R RA.769 – Criterios de protección para las mediciones radioastronómicas.
- Recomendación UIT-R RA.314 – Bandas de frecuencias preferidas para las mediciones radioastronómicas.
- Recomendación UIT-R RA.517 – Protección del servicio de radioastronomía contra los transmisores que funcionan en bandas adyacentes.
- Recomendación UIT-R RA.611 – Protección del servicio de radioastronomía contra las emisiones no esenciales.
- Recomendación UIT-R RA.1031 – Protección del servicio de radioastronomía en las bandas de frecuencias compartidas con otros servicios.
- Recomendación UIT-R RA.1237 – Protección del servicio de radioastronomía contra las emisiones no deseadas, provocadas por aplicaciones de la modulación digital de banda ancha.
- Recomendación UIT-R S.1432 – Distribución de las degradaciones admisibles de la calidad en términos de errores debidas a la interferencia invariante en el tiempo entre los trayectos digitales ficticios de referencia del servicio fijo por satélite para el caso de los sistemas que funcionan por debajo de 30 GHz.

5.4 Medición del campo de radiación

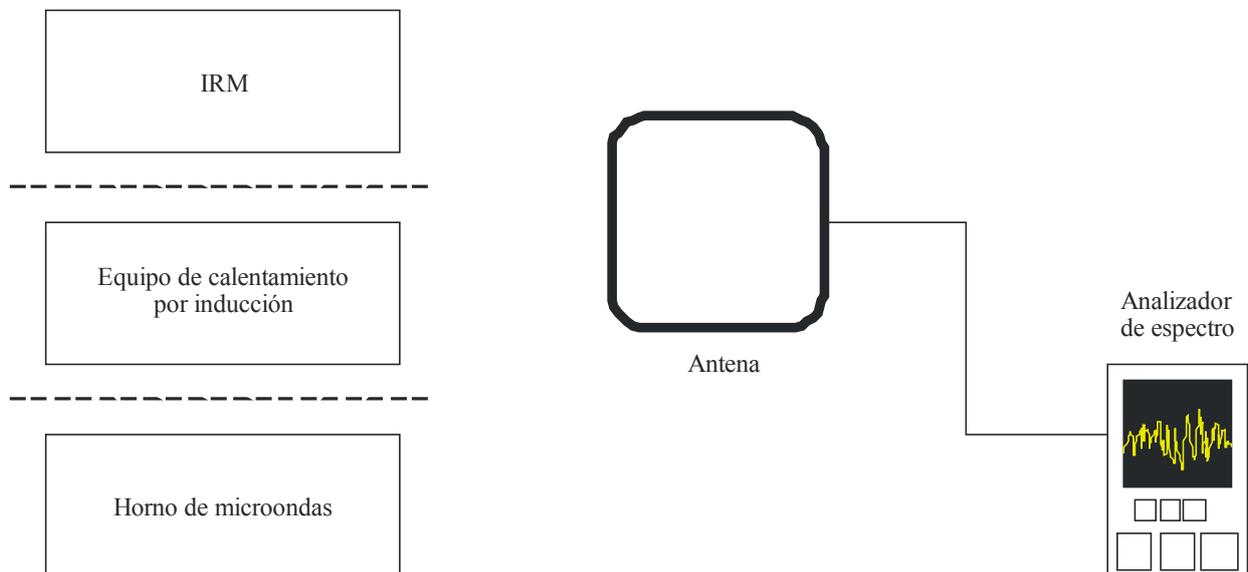
Este punto cubre los resultados de la radiación ICM medida en:

- 1) los dispositivos IRM;
- 2) los equipos de calentamiento por inducción;
- 3) los hornos de microondas.

Para examinar la potencia de radiación de fuga de los equipos ICM, las mediciones de espectro se realizaron en condiciones de conexión/desconexión de los equipos de IRM y de los equipos de calentamiento por inducción y el horno de microondas se midió en ausencia/presencia de una carga de 1 000 ml de agua.

El montaje utilizado que representa la Fig. 9 se utiliza en hospitales y factorías industriales para medir la señal ICM. Como el objetivo de esta medición es observar únicamente la señal ICM recibida en unas circunstancias reales de manera sencilla, el método de medición utilizado no puede aplicarse a la certificación de equipos ICM. Se sabe, no obstante que existen varios métodos de medición disponibles para la certificación de los equipos ICM, como se indica en las publicaciones FCC OST MP-5, EN55011 y en otras¹. Cabe señalar que debe seguirse un método de medición para obtener los resultados medidos que puedan validarse. Es muy recomendable elaborar un informe de prueba para validar las mediciones.

FIGURA 9
Configuración de la medición



I. SM.2180-09

Para medir las radiaciones de los dispositivos IRM, de los equipos de calentamiento por inducción y de los hornos de microondas se utilizan, respectivamente, una antena de bucle, una antena directiva activa y una antena de bocina.

5.4.1 Formación de imágenes por resonancia magnética

Como puede observarse en las imágenes que aparecen más adelante tomadas en un hospital utilizando un dispositivo IRM, las mediciones se realizaron con una antena de bucle en los modos de polarización horizontal y vertical, respectivamente, con una distancia entre el dispositivo IRM y el dispositivo de medición de unos 3 metros.

¹ Véase la referencia [16].

Con los espectros de medición del Apéndice 1, los resultados medidos en 5 hospitales fueron los siguientes:

El Cuadro 4 muestra las frecuencias en las que tiene lugar la emisión ICM más intensa y los correspondientes valores de emisión medidos en cada hospital. Las mediciones se efectuaron con una antena de bucle situada a una distancia de 3 m salvo en un emplazamiento. La emisión ICM más intensa en presencia de señales de fuga procedentes de salas de IRM es de unos -34 dBm a 63,8 MHz. Esta señal ICM puede provocar interferencia perjudicial al servicio de radiodifusión en esta frecuencia o a otros servicios de radiocomunicaciones con alta sensibilidad que utilizan la frecuencia 63,8 MHz². Deben realizarse más estudios para determinar la repercusión sobre los servicios de radiocomunicaciones en el interior de hospitales, puesto que cada servicio tiene sus propios criterios de protección.

CUADRO 4

Resultados de la medición de un dispositivo IRM a 3 m*
(anchura de banda de resolución de 100 kHz)

	DESCONECTADO		CONECTADO	
	Frecuencia (MHz)	Valor medido (dBm)	Frecuencia (MHz)	Valor medido (dBm)
IRM A	127,717	-70,40	127,782	-48,38
IRM B	63,85	-78,49	63,848	-34,36
IRM C	63,74	-70,15	63,83	-61,91
IRM D	62,50	-80,51	63,85	-51,69
IRM E⁽¹⁾	63,76	-73,68	63,86	-53,82

⁽¹⁾ La distancia de medición para el IRM E es 10 m.

5.4.2 Equipos de calentamiento por inducción

La Fig. 9 muestra ejemplos de medición de la emisión radiada generada por un equipo de calentamiento por inducción con potencias de 50 kW y 3 kW a una distancia de 3 m.

Los valores de emisión de $-43,58$ dBm y $9,84$ dBm del Cuadro 5 muestran que la señal de fuga del equipo de calentamiento por inducción probablemente perturbará al servicio de radiocomunicaciones debido a que la sensibilidad de muchos receptores oscila generalmente en la gama de -100 dBm a -80 dBm.

² Estas mediciones se realizaron *in situ* mientras que CISPR 11 especifica las emisiones radiadas en un emplazamiento de prueba. Por tanto, estos valores no pueden compararse directamente con los límites radiados que figuran en CISPR 11.

CUADRO 5

**Resultados de la medición del equipo de calentamiento
por inducción a una distancia de 3 m (anchura
de banda de resolución de 100 kHz)**

	DESCONECTADO		CONECTADO	
	Frecuencia (MHz)	Valor medido (dBm)	Frecuencia (MHz)	Valor medido (dBm)
Equipo de calentamiento por inducción A	39,6	-74,03	20,7	-43,58
Equipo de calentamiento por inducción B	75,6	-56,37	25,23	9,84

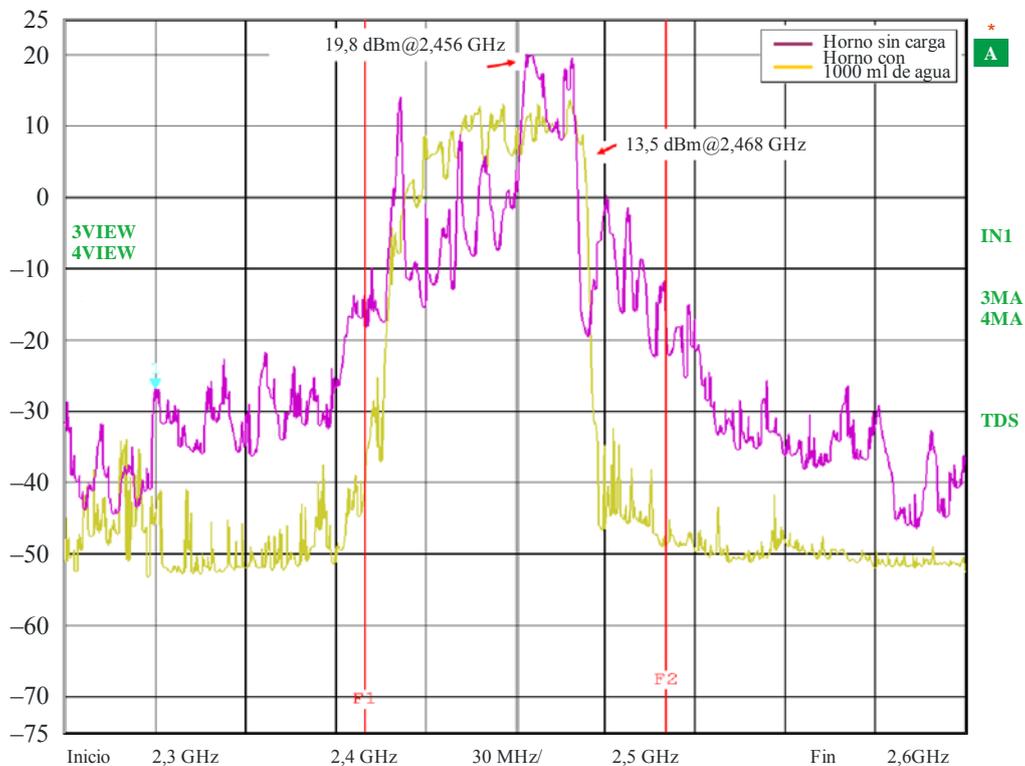
Los espectros de radiocomunicaciones medidos se presentan detalladamente en el Apéndice 2.

5.4.3 Horno de microondas

La Fig. 10 muestra el espectro radioeléctrico de un horno de microondas con una potencia de 1 250 W en ausencia/presencia de una carga de agua de 1 000 ml. Las mediciones se realizaron con una antena de bocina a una distancia de 3 m en una cámara semianecoica. Se observa en dicha Fig. 10 que los lóbulos laterales de los dos espectros son distintos. Cabe señalar que el horno de microondas con la carga de agua satisface los límites de radiación establecidos en la Publicación 11 del CISPR.

FIGURA 10

Medición del espectro de un horno de microondas



Observados en las proximidades de 2,35 GHz en la Fig. 10, el valor -35 dBm puede causar interferencia perjudicial a los sistemas IMT que utilizan la banda de frecuencias 2,3~2,4 GHz. La NTIA³ publicó un informe en el que figuran las características de los espectros radioeléctricos generados por los hornos de microondas fuera de la banda de frecuencias ICM 2,4~2,5 GHz. Teniendo en cuenta las mediciones del espectro radioeléctrico llevadas a cabo por la NTIA, puede aparecer interferencia entre un horno de microondas y los sistemas IMT que emplean las bandas de frecuencia 2,3~2,4 GHz y 2,5~2,69 GHz. Por tanto, es necesario seguir estudiando la imposición de límites más estrictos a los hornos de microondas a fin de proteger los sistemas IMT contra las emisiones radiadas por dichos hornos.

6 Conclusión

El Informe presenta un método de análisis de la interferencia y de los límites de radiación de los equipos ICM elaborado por el CISPR. Como los límites de emisión de la Publicación 11 del CISPR se basan en la relaciones S/N de los servicios de radiocomunicaciones, estos límites han desempeñado un papel importante para que las administraciones protejan adecuadamente los servicios de radiocomunicaciones contra la radiación producida por los Equipos ICM.

Más aún, de acuerdo con las últimas publicaciones referentes a la interferencia electromagnética, los actuales límites de emisión del CISPR se han elaborado para proteger los servicios de radiocomunicaciones analógicos en vez de los servicios de radiocomunicaciones digitales. La relación S/N de los servicios de radiocomunicaciones analógicos es distinta de la de los servicios de radiocomunicaciones digitales. Por consiguiente, se invita al UIT-R a que proporcione al CISPR las características y los criterios de protección de los sistemas de radiocomunicaciones digitales.

Referencias

- [1] J. Thuery y E.H. Grant, *Microwaves: Industrial, scientific, and medical applications*, Artech House, 1992.
- [2] M. Stuchly y S.S Stuchly, «Industrial, scientific, medical and domestic applications of microwaves, physical science, measurement and equipmentation, management and education, reviews,» *IEE Proc. A*, Vol. 130, No. 8, pp. 467-503, noviembre 1983.
- [3] J. Rolomey, «Recent European developments in active microwave imaging for industrial, scientific, and medical applications,» *IEEE Trans. Microwave theory*, Vol. 37, No. 12, pp. 2109-2117, diciembre 1998.
- [4] S. Miyamoto, «Performance of 2.4 GHz-band wireless LAN system using orthogonal frequency division multiplexing scheme under microwave oven noise environment, » in *proc. electromagnetic compatibility international symposium*, agosto 2005, pp.157-162.
- [5] Y. Matsumoto, M. Takeuchi, K. Fujii, A. Sugiura, y Y. Yamanaka, «Performance analysis of interference problems involving DS-SS WLAN systems and microwave ovens,» *IEEE Trans. electromagnetic compatibility*, Vol. 47, No. 1, pp. 45-53, febrero 2005.

³ Véase la referencia [15].

- [6] W. R. Vincent y G. K. Lott, «Measurements of Extensive HF Industrial, Scientific, and Medical Interference far Removed from the ITU Allocated Bands,» in Proc. HF Radio Systems and Techniques, julio 1994, pp. 155-158.
- [7] ANSI, IEEE recommended practice for the measurement of radio frequency emission from industrial, scientific, and medical (ISM) equipment installed on user's premises, IEEE Std 139-1988, marzo 1993.
- [8] P.B. Kenington y D.W. Bennett, «Field measurements study into the potential effects of ISM emissions on cellular radio equipment,» IEE Proc. Science, Measurement and Technology, Vol. 144, No. 3, pp. 134-140, mayo 1997.
- [9] T.L. Wilson, «Electric process heating committee activities in international interference limits setting- a report,» IEEE Trans. Industry Applications, Vol. IA-23, No. 1, pp. 90-94, enero 1987.
- [10] S. Krishnamoorthy, J.H. Reed, C.R. Anderson, P. Robert, y S. Srikanteswara, «Characterization of the 2.4 GHz ISM band electromagnetic interference in a hospital environment,» in IEEE proc. engineering in medicine and biology society, septiembre 2003, pp. 3245-3248.
- [11] P.B. Kenington y D.W. Bennett, «Study into the potential effects of ISM emissions on cellular radio equipment,» in proc. electromagnetic compatibility, septiembre 1997, pp. 6-11.
- [12] D. Bernard, «Measurement of microwave ovens radiation between 1 & 18 GHz in relation with the CISPR standardisation activities,» in proc. electromagnetic compatibility, agosto 1997, pp. 118-122.
- [13] Reglamento de Radiocomunicaciones del UIT-R, 2007.
- [14] Recomendación UIT-R SM.1056, Limitación de las radiaciones procedentes de equipos industriales, científicos y médicos (ICM), 2007.
- [15] P.E. Gawthrop, F.H. Sanders, K.B. Nebbia, y J.J. Sell, Radio spectrum measurements of industrial microwave ovens, Volume 1, NTIA Report 94-303-1, marzo 1994.
- [16] FCC, FCC Methods of measurements of radio noise emissions from industrial, scientific, and medical equipment, FCC/OST MP-5, febrero 1986.
- [17] CISPR, Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment –Electromagnetic disturbance characteristics Limits and methods of measurement, CISPR Publication 11 Edition 4, Junio 2004 (revisada en la Edición 5, mayo 2010).
- [18] CISPR, Uncertainties, statistics and limit modelling – Statistics of complaints and a model for the calculation of limits for the protection of radio services, CISPR Publication 16-4-4, julio 2007.
- [19] K. Willundh, «Relation Between the Amplitude Probability Distribution of an Interfering Signal and its Impact on Digital Radio Receivers,» IEEE Trans. EMC, Vol. 48, No. 3, pp. 537-544, agosto 2006.
- [20] P.F. Stenumgaard, On Radiated Emission Limits for Pulsed Interference to Protect Modern Digital Wireless Communication Systems,» IEEE Trans. EMC, Vol. 49, No. 4, pp. 931-936, noviembre 2007.

Apéndice 1

Resultados de la medición de un dispositivo IRM

Este Apéndice presenta los aspectos radioeléctricos de cinco señales IRM cuando están activadas y desactivadas.

FIGURA 11

Ejemplo de medición de la emisión de la señal IRM



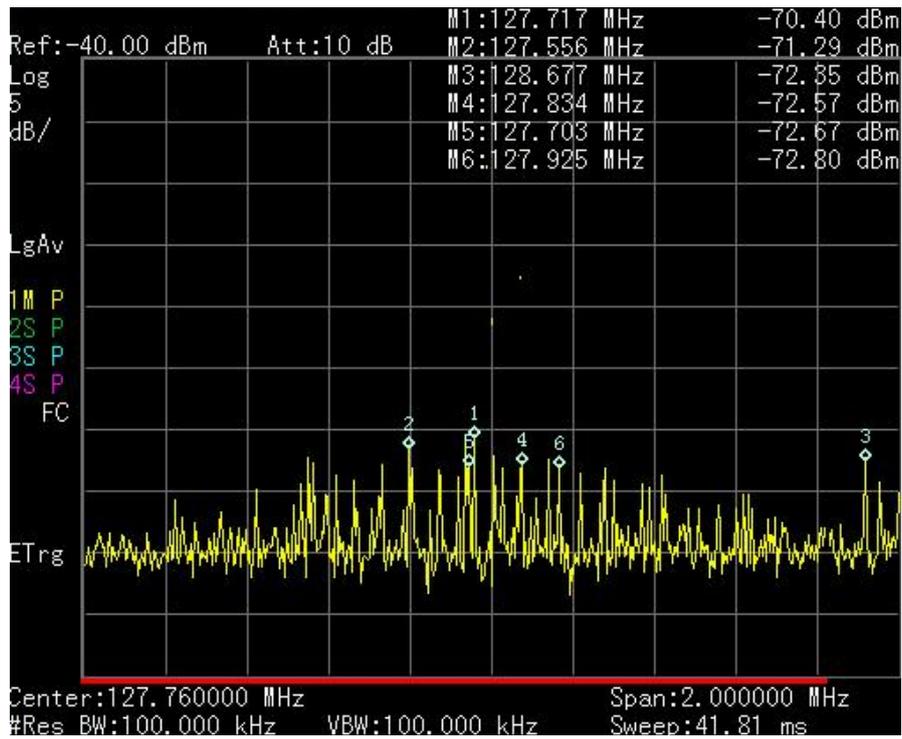
a) Polarización vertical



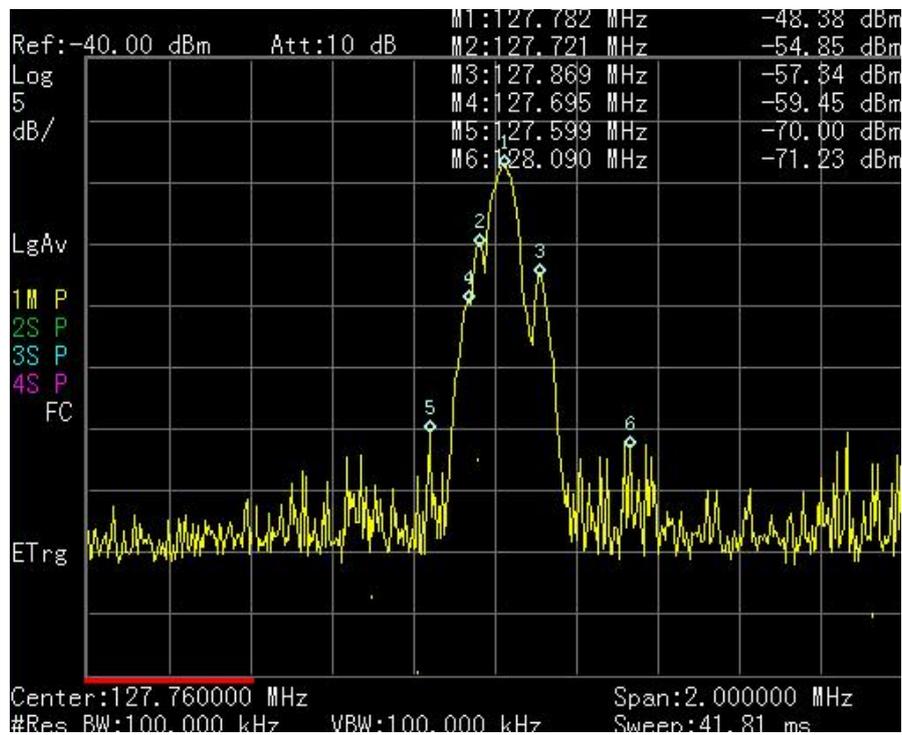
b) Polarización horizontal

FIGURA 12

Espectro radioeléctrico del equipo IRM A



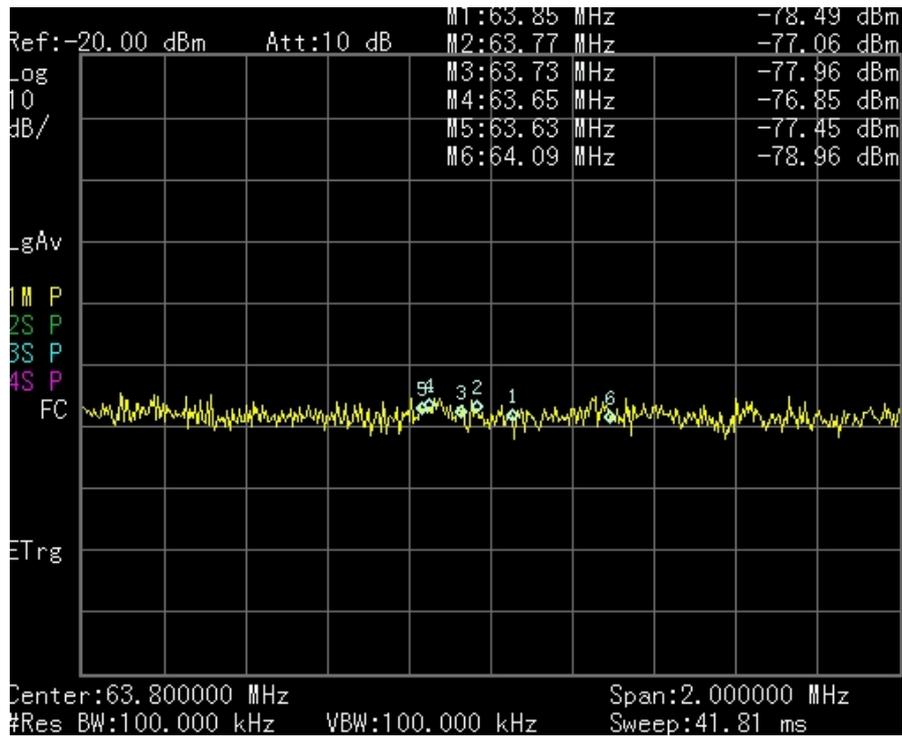
a) Desconectado



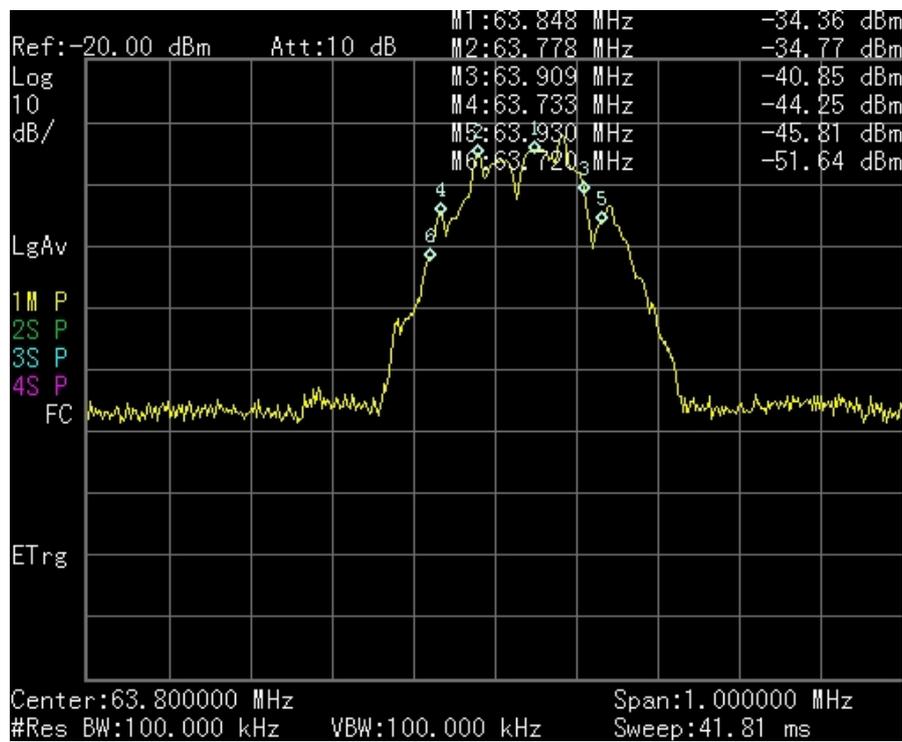
b) Conectado

FIGURA 13

Espectro radioeléctrico del equipo IRM B



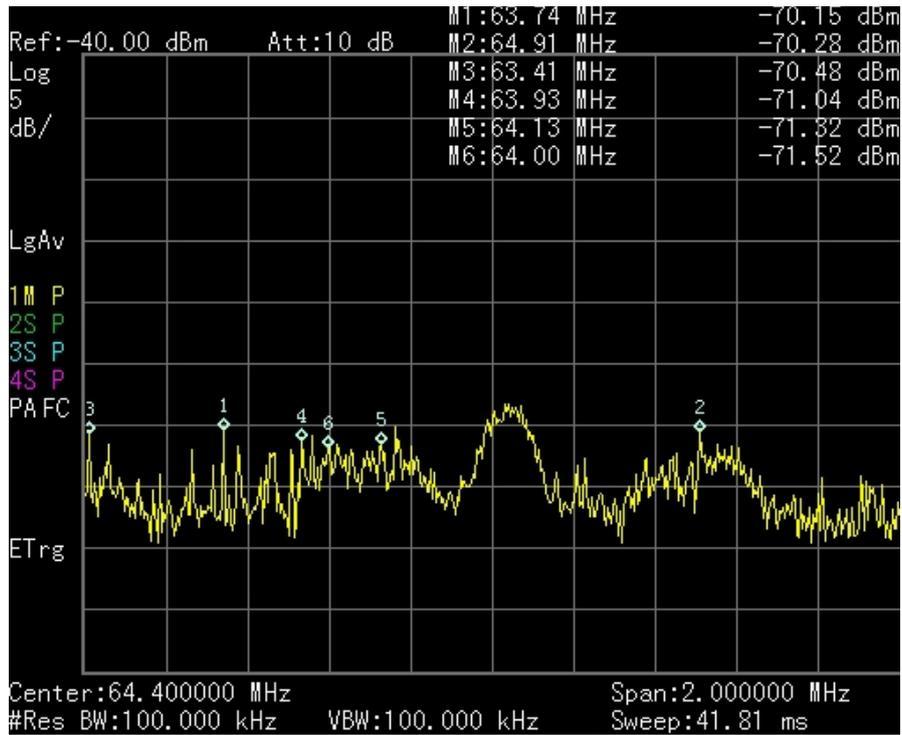
a) Desconectado



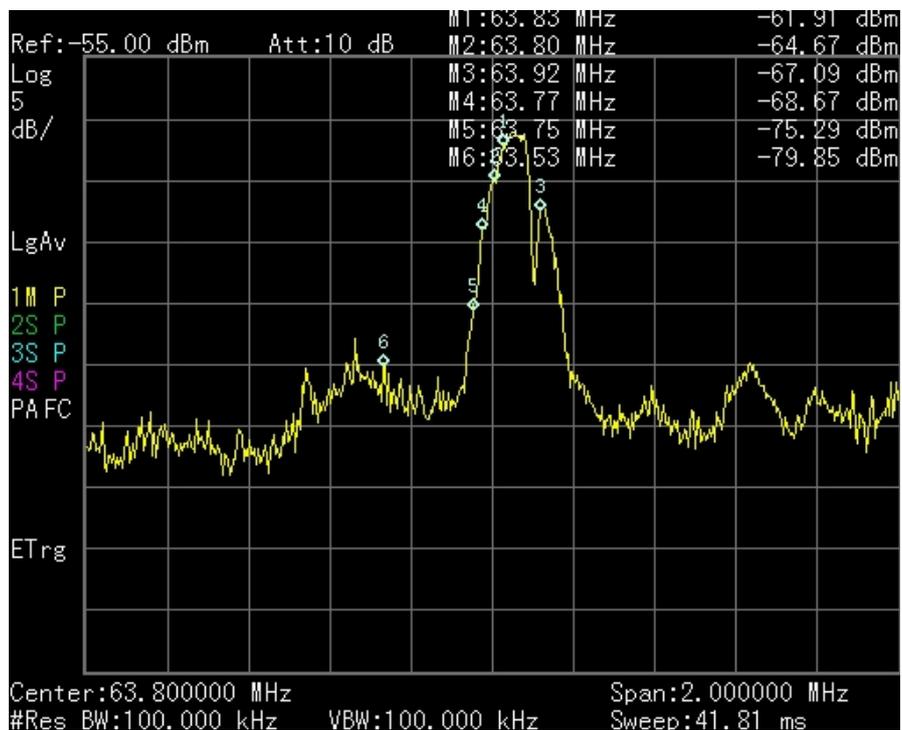
b) Conectado

FIGURA 14

Espectro radioeléctrico del equipo IRM C



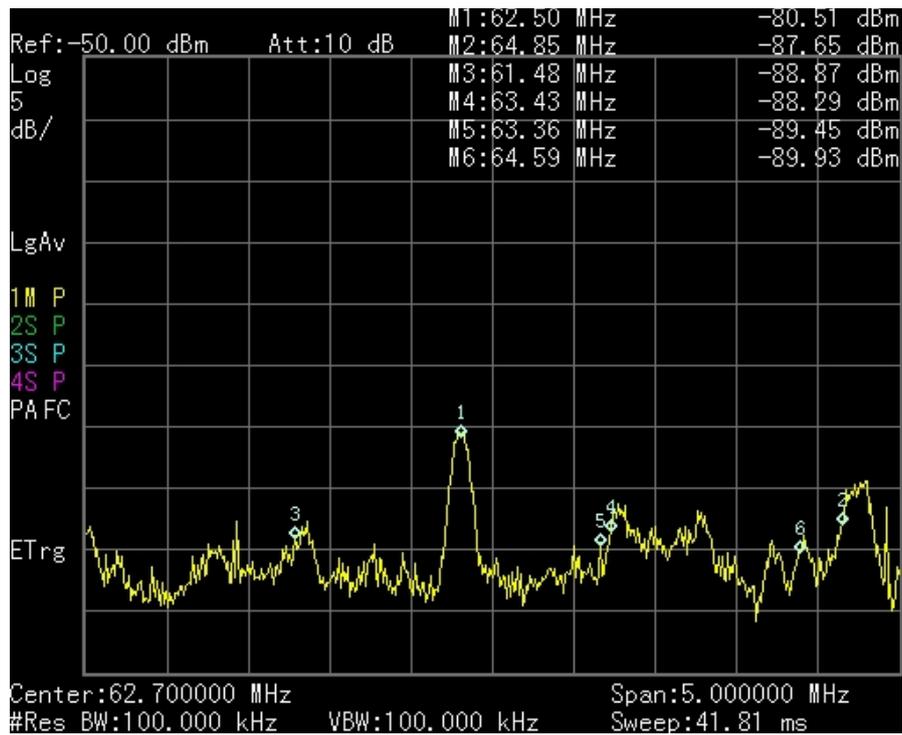
a) Desconectado



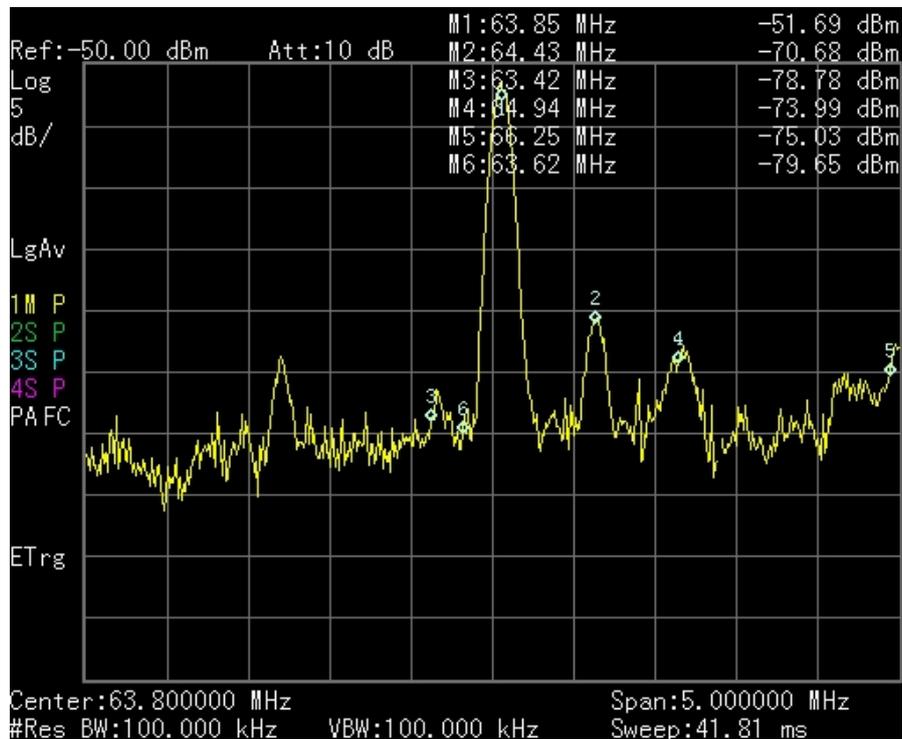
b) Conectado

FIGURA 15

Espectro radioeléctrico del equipo IRM D



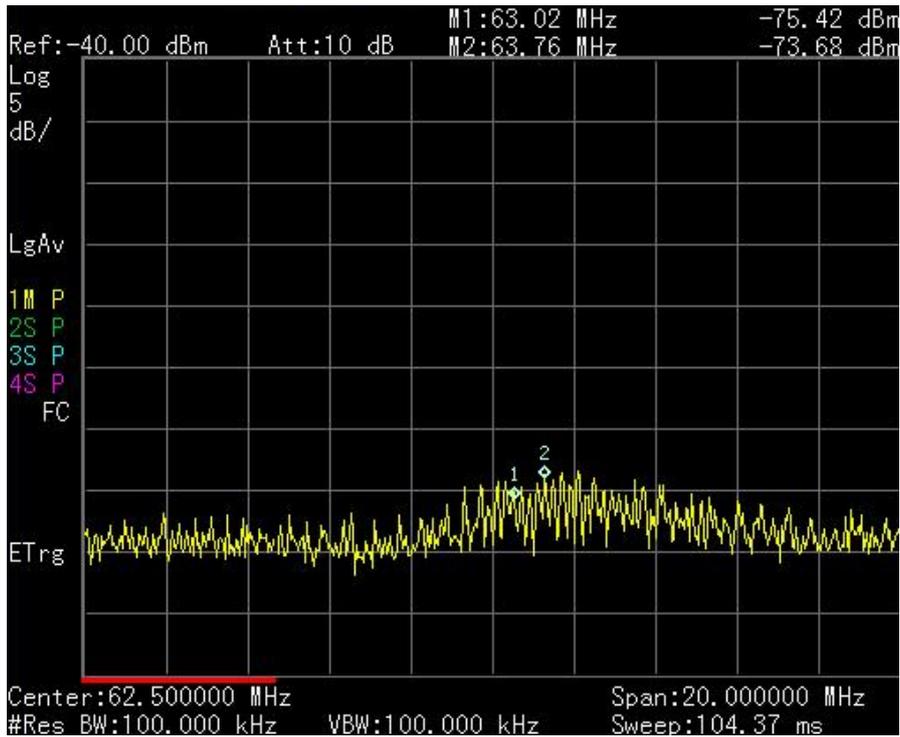
a) Desconectado



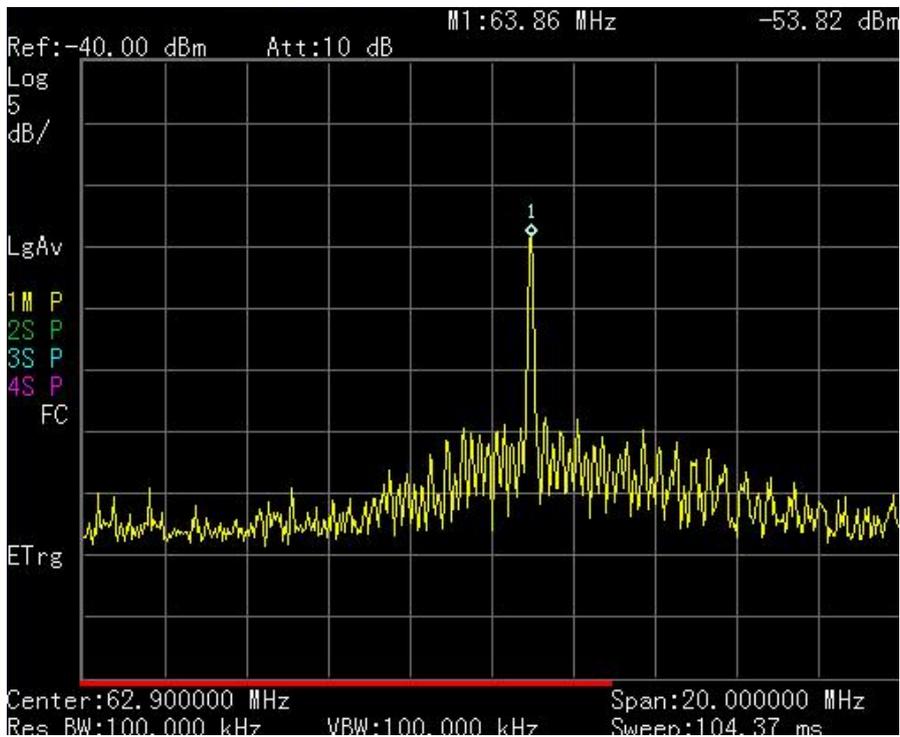
b) Conectado

FIGURA 16

Espectro radioeléctrico del equipo IRM E



a) Desconectado



b) Conectado

Apéndice 2

Resultados de la medición en un equipo de calentamiento por inducción

Este Apéndice presenta el espectro radioeléctrico de dos equipos de calentamiento por inducción cuando están activados y desactivados.

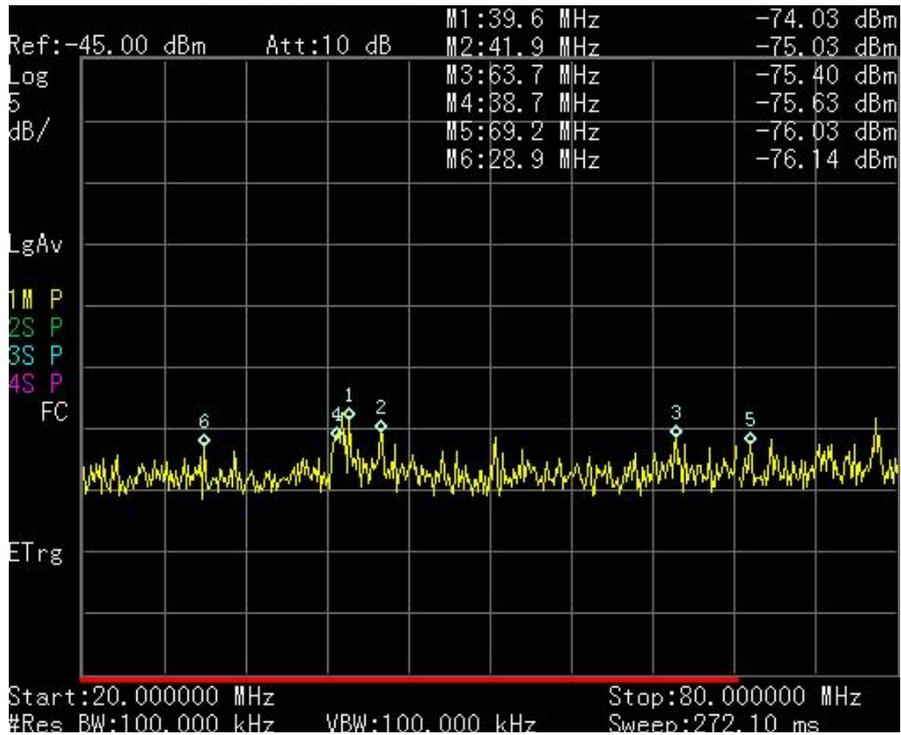
FIGURA 17

Ejemplos de equipo de calentamiento por inducción

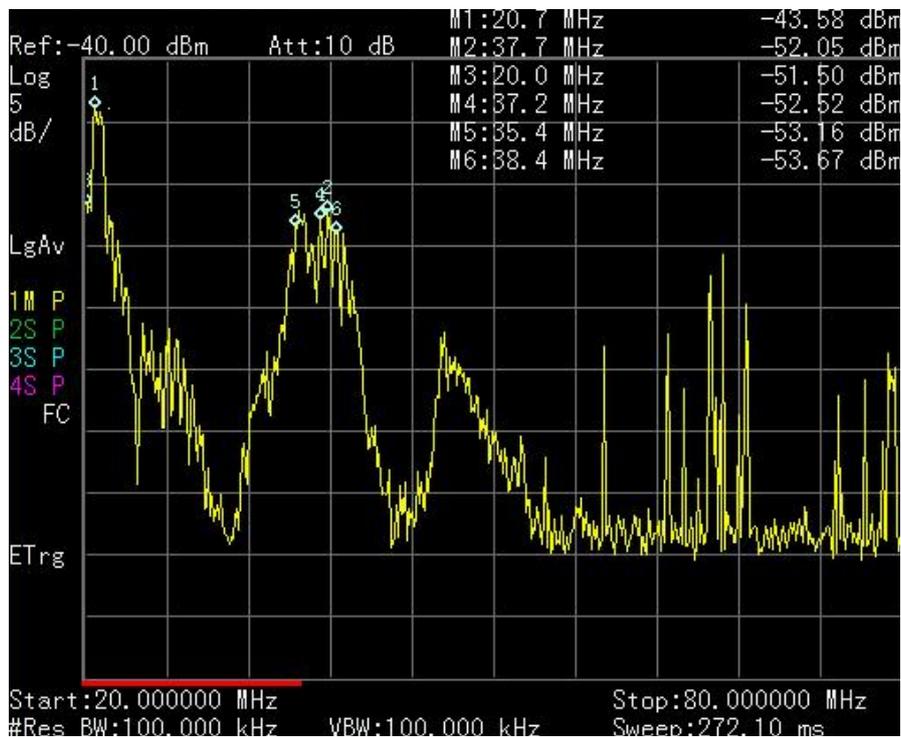


FIGURA 18

Espectro radioeléctrico de equipo de calentamiento por inducción A



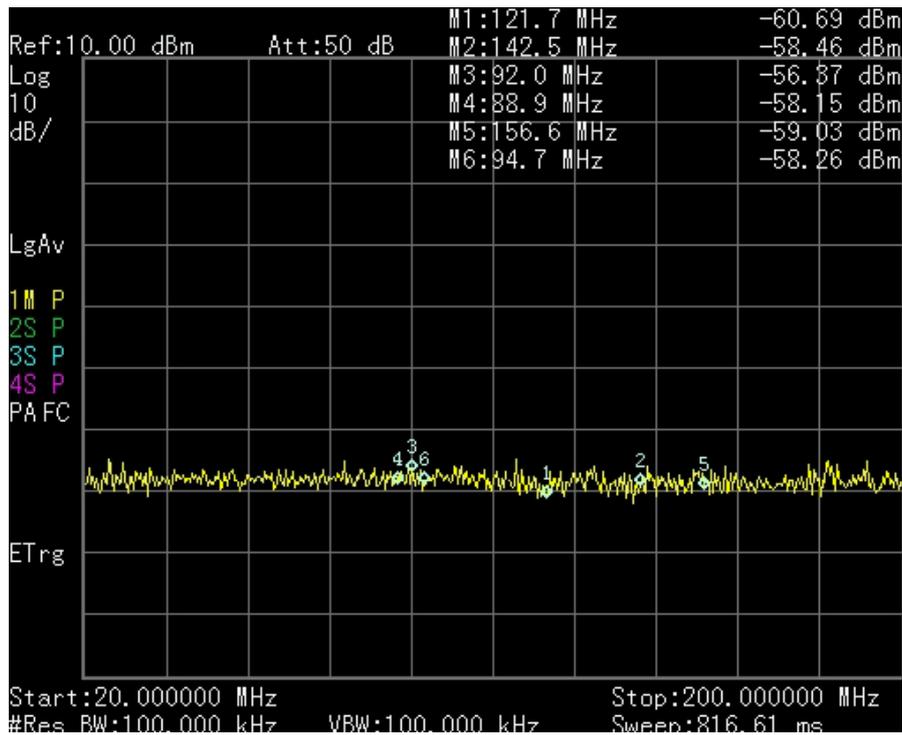
a) Desconectado



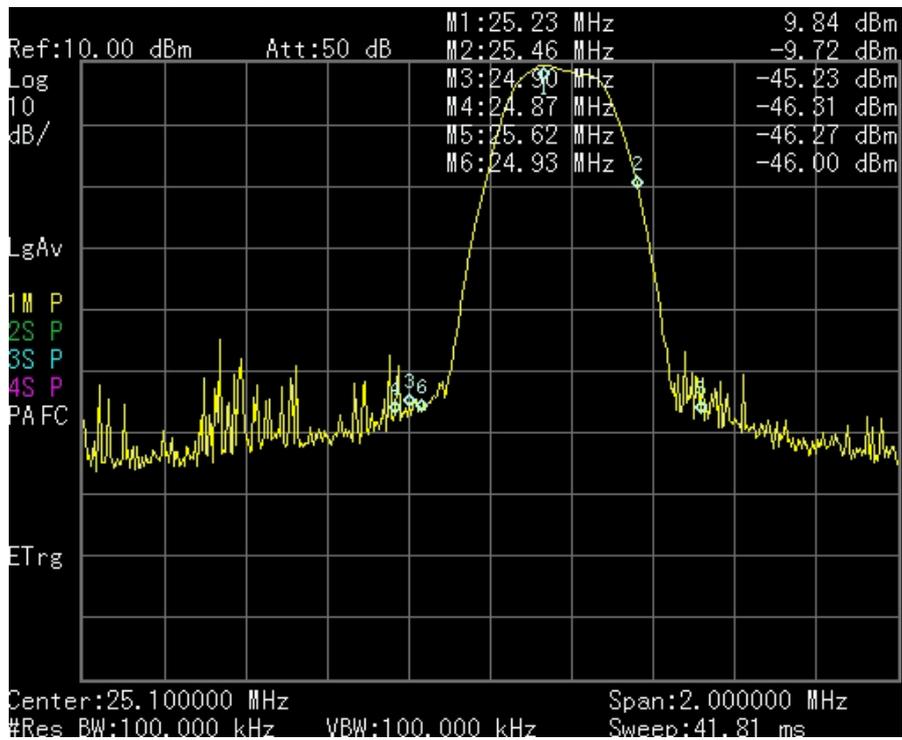
b) Conectado

FIGURA 19

Espectro radioeléctrico del equipo de calentamiento por inducción B



a) Desconectado



b) Conectado