

**UIT-R**

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

**Informe UIT-R SM.2269**  
(06/2013)

**Metodología para relacionar la radiación  
procedente de instalaciones de  
telecomunicaciones por líneas  
eléctricas con la salida de un módem de  
telecomunicaciones por líneas eléctricas**

**Serie SM**  
**Gestión del espectro**



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

*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, 2014

© UIT 2014

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.2269

**Metodología para relacionar la radiación procedente de instalaciones de telecomunicaciones por líneas eléctricas con la salida de un módem de telecomunicaciones por líneas eléctricas**

(Cuestión UIT-R 221-1/1)

(2013)

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Introducción..... 1
2	Metodología de las pérdidas de acoplamiento..... 2
3	Metodologías de la fuente del punto de radiación..... 10
4	Determinación experimental de las corrientes de RF que circulan en el cableado eléctrico, de la perturbación de RF y de las características de antena equivalentes de una instalación PLT en el hogar ..... 17

## 1 Introducción

Un elemento fundamental en los estudios sobre la influencia de las telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) por encima de 80 MHz es la elaboración de métodos para evaluar la cantidad radiada de energía de RF inyectada en los cables eléctricos por los módems PLT. Estas herramientas proporcionan las bases para:

- determinar el cumplimiento de los límites de la compatibilidad electromagnética (CEM) en las emisiones radiadas;
- calcular el incremento resultante del ruido de fondo; y
- evaluar la posibilidad de causar interferencia a los servicios de radiocomunicaciones.

Si se demuestra que es posible relacionar las emisiones radiadas procedentes de instalaciones PLT con cantidades directamente mensurables de la potencia de salida total y la densidad espectral de potencia (DEP) del módem, la tarea de proporcionar directrices sobre la instalación de PLT mediante Recomendaciones UIT-R y UIT-T resulta más sencilla. La familia de Recomendaciones G.9960 del UIT-T incorpora una herramienta que permite a los reguladores nacionales adaptar la máscara de espectro de la densidad espectral de potencia (DEP) y la potencia de salida total de conformidad con las condiciones del mercado local. Actualmente no se dispone de un medio para relacionar los límites de niveles inaceptables del ruido de radiofrecuencia y de interferencia causada a los servicios de radiocomunicaciones con la potencia inyectada y la densidad espectral de los módems PLT.

Con objeto de utilizar el nivel de DEP como referencia a fin de evaluar y controlar las emisiones radiadas por las instalaciones PLT, se necesita algún método para determinar las pérdidas de acoplamiento representativas en las instalaciones PLT típicas. Ello permitiría entonces relacionar directamente la cantidad de radiación de las instalaciones PLT típicas con la potencia de salida total y la DEP del módem.

El Informe UIT-R SM.2158 contiene los resultados de varios estudios del UIT-R que presentan las técnicas y los esfuerzos desplegados para llevar a cabo mediciones de la repercusión de la radiación precedente de los sistema PLT en los sistemas de radiocomunicaciones que funcionan por debajo de 80 MHz. Los siguientes estudios contenidos en los Apéndices del referido Informe UIT-R SM.2158 se refieren a la medición de la radiación PLT en las bandas de ondas decamétricas:

- Estudio A3.1 (Brasil) – Informe sobre las mediciones del campo eléctrico radiado procedente de un solo sistema PLT de acceso. Se llega a la conclusión de que la intensidad de campo interferente no debe rebasar el valor de 16 dB( $\mu$ V/m) en el emplazamiento de recepción, que puede ser inferior al ruido de fondo ambiente, en vez del valor medido de 60 dB( $\mu$ V/m).
- Estudio A3.2 (NABA/CRC) – Informe sobre mediciones del campo eléctrico radiado desde los locales del sistema PLT. Muestra que las señales PLT se reciben con un nivel de 50-60 dB( $\mu$ V/m) a una distancia de 3 a 10 m.
- Estudio A3.5.3 (IUCAF) – Informe sobre las mediciones del campo eléctrico radiado por un sistema PLT en una casa aislada. Demuestra que las señales PLT se reciben con un nivel en torno a 50 dB( $\mu$ V/m) a una distancia de 10 m.

Este Informe agrupa estudios que apoyan la idea de establecer una metodología para relacionar las emisiones radiadas por instalaciones PLT con la densidad espectral y la potencia de salida del módem.

## 2 Metodología de las pérdidas de acoplamiento

Este estudio realizado por Norddeutscher Rundfunk (NDR) y Zweites Deutsches Fernsehen (ZDF) tiene por objeto evaluar las emisiones radiadas por instalaciones PLT considerando las pérdidas de acoplamiento que intervienen. La intención es elaborar un método en el que pueda determinarse una cifra para las pérdidas de acoplamiento totales en una situación típica con objeto de ampliar la técnica a una gama de situaciones representativas.

Este estudio es un seguimiento de las mediciones de la interferencia indicadas en el § 3.2.1 a fin de explorar la manera de simplificar la evaluación de las emisiones radiadas por las instalaciones PLT. Hay muchas etapas para determinación cómo un receptor considera la radiación de los sistemas PLT: como ruido adicional o como interferencia. Desafortunadamente, ninguna de estas etapas es fácilmente modelizable o mensurable. La cantidad que puede medirse repetidamente y con certeza es la DEP inyectada por un módem PLT a los cables eléctricos.

La tarea de las administraciones, los reguladores y las organizaciones de normalización sería más sencilla si el nivel de DEP inyectado pudiese utilizarse como referencia al establecer los límites para los niveles inaceptables de ruido e interferencia. Ello requeriría contar con un método para evaluar las pérdidas de acoplamiento representativas en instalaciones PLT típicas, lo que permitiría vincular directamente la DEP del módem y la potencia total de salida con el volumen de radiación procedente de una instalación PLT típica.

El objetivo del estudio de NDR/ZDF era crear un modelo de pérdidas de acoplamiento a lo largo de la cadena desde la energía de RF inyectada al cableado de la red, a continuación a la fracción radiada y por último a la fracción recibida en el edificio. Si pueden combinarse en unas pérdidas de acoplamiento totales representativas, la posible interferencia procedente de dispositivos PLT puede evaluarse conociendo su potencia de salida total y las características de la DEP.

A fin de fijar unas bases repetibles para crear un modelo, este estudio hace uso de un modulador DVB-T para establecer una señal de RF de banda ancha con características espectrales conocidas.

## 2.1 Filosofía de medición

Es difícil medir el nivel de las emisiones radiadas por una instalación PLT utilizando antenas porque la potencia inyectada por los módems PLT a las líneas de alimentación de energía eléctrica varía con el tiempo. En el modo inactivo, sólo hay presentes algunos picos de señal. La máxima potencia únicamente se transmite durante la transferencia de datos, que no suele ser regular.

El fabricante del dispositivo conoce la potencia de salida del módem PLT. Puede calcularse el nivel de potencia de interferencia a la salida de una antena de recepción definida si se conocen las pérdidas de acoplamiento entre el módem PLT conectado al enchufe de la red y la salida de antena. Las pérdidas de acoplamiento también pueden utilizarse para calcular la máxima potencia de salida del módem PLT o DEP permitidas, si se conoce el máximo nivel de interferencia a la entrada del receptor.

La realización de unas mediciones adecuadas de las pérdidas de acoplamiento lleva mucho tiempo porque deben considerarse diferentes tipos de edificios, de cableados eléctricos, de posiciones de la antena, etc. Un método más eficaz consiste en crear modelos de distintos tipos de edificios con diversos cableados de línea eléctrica, conectar un módem PLT a la línea de alimentación de energía eléctrica en diferentes emplazamientos y hacer uso de las herramientas de cálculo de la radiación electromagnética para determinar las pérdidas de acoplamiento entre el módem PLT y el nivel de señal recibido de una antena en el edificio. La antena debe situarse en muchos emplazamientos y posiciones distintos. Puede calcularse un gran número de valores de pérdidas de acoplamiento para diferentes modelos de cableado y diversas hipótesis, estableciendo así un buen enfoque estadístico. Los valores pueden verificarse mediante algunas mediciones de ejemplo.

Para encontrar algunos valores experimentales de pérdidas de acoplamiento en la banda de frecuencias de ondas métricas, el IRT<sup>1</sup> realizó mediciones en un laboratorio y en una casa adosada típica situada en una zona rural de Alemania.

## 2.2 Montaje de medición

Las primeras mediciones de las pérdidas de acoplamiento se realizaron en el laboratorio IRT como primera aproximación. Sin embargo, un laboratorio no es un emplazamiento típico de recepción de radiodifusión. Las mediciones realistas de las pérdidas de acoplamiento se llevaron a cabo en una casa adosada típica situada en una región rural de Alemania. La casa está fabricada con ladrillos, tiene una planta baja y dos pisos con suelos y techos de cemento (véase la Fig. 1).

---

<sup>1</sup> El IRT (Institut für Rundfunktechnik GmbH) es el Instituto de Investigación y Desarrollo de los Organismos del Servicio Público de Radiodifusión en Alemania, Austria y Suiza. Se encuentra en Munich (Alemania).

FIGURA 1

Casa adosada (en el centro) donde se midieron las pérdidas de acoplamiento entre el módem PLT y la antena dipolo



Informe SM. 2269-01

Para medir la potencia de interferencia radiada y recibida, debe inyectarse una señal estable de nivel conocido en las líneas de energía eléctrica. La salida directa del módem PLT no es adecuada porque es inestable. Como los sistemas PLT hacen uso de señales CODFM para la transmisión de datos, se empleó una señal similar para las mediciones, una señal DVB-T. Un generador de señal SFQ de Rohde & Schwarz (R&S) introdujo una señal DVB-T con una anchura de banda de 7 MHz a una frecuencia de 198,5 MHz en la red eléctrica de la casa (véase la Fig. 2).

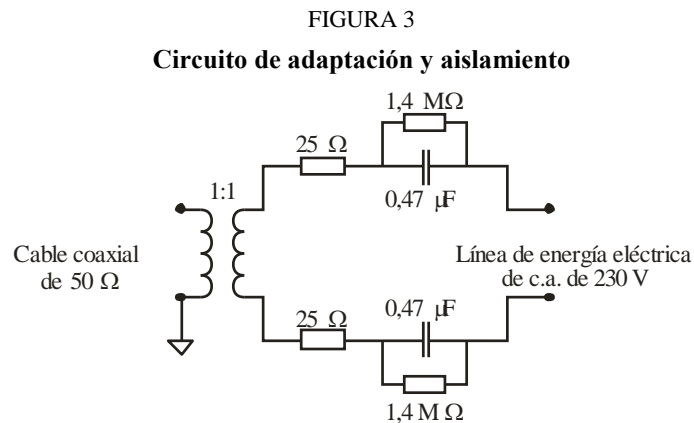
FIGURA 2

Generador de señal SFQ aplicando una señal DVB-T a la red eléctrica



Informe SM. 2269-02

La adaptación de la salida de generador de 50 Ohmios coaxial a las líneas de potencia simétricas y el aislamiento de 230 V se realizó mediante el circuito representado en la Fig. 3



El circuito puede atenuar de forma significativa la señal del generador, si la impedancia de la línea es inferior a 1 000 ohmios (es decir, 3,5 dB a 100 ohmios). La impedancia de la línea depende de varios parámetros que no pueden controlarse. A efectos de los cálculos correspondientes se considera aquí que el circuito de adaptación atenúa en 3 dB la señal DVB-T.

Para la recepción de la señal se utilizó una antena de plano de tierra con polarización vertical, como muestra la Fig. 4. La antena se situó a 1,5 m sobre el nivel del suelo y se conectó a un analizador de espectro para medir la potencia de canal recibida. La ganancia de la antena de plano de tierra es de 0 dB<sub>d</sub>, la misma que la del dipolo en  $\lambda/2$ .

FIGURA 4  
Medición por antenas de plano de Tierra con polarización vertical



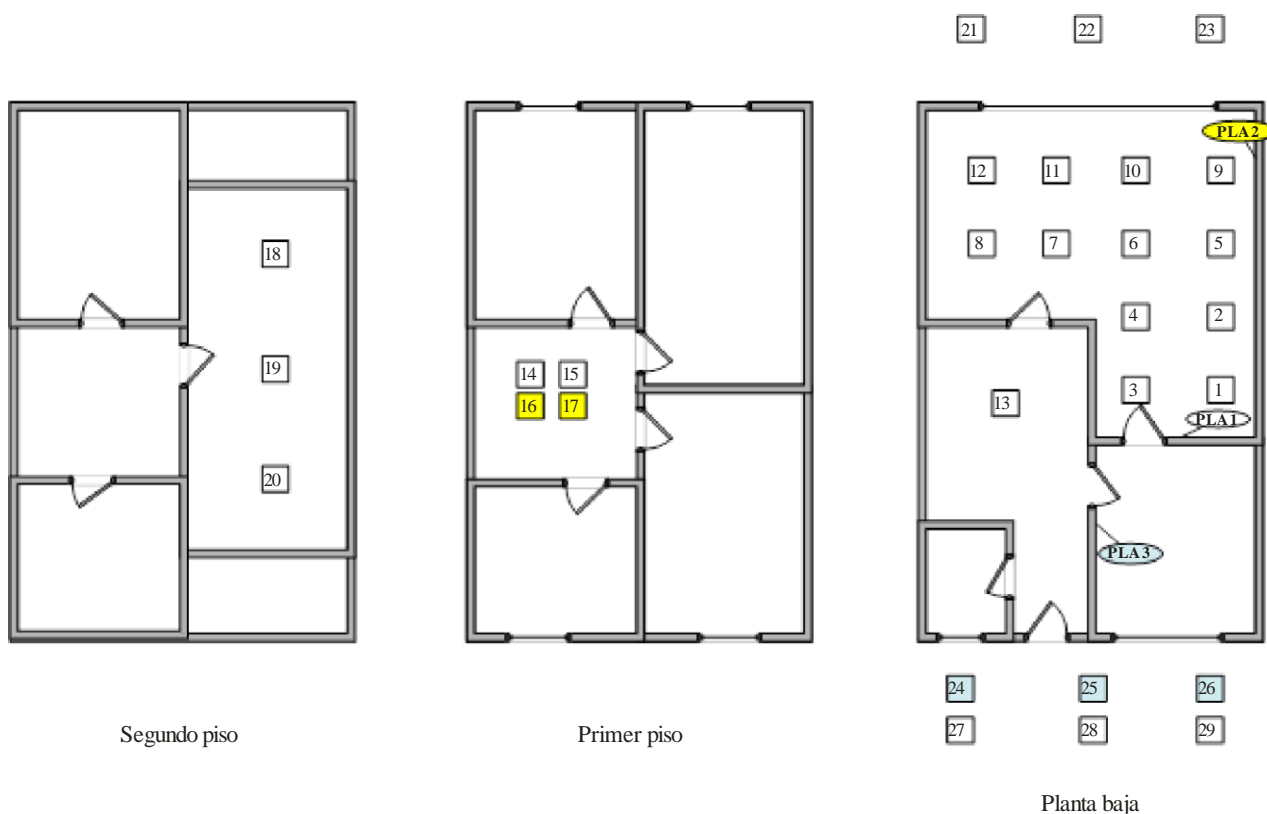
Informe SM.2269-04

El analizador de espectro utilizado fue un ETL de R&S, que puede medir la potencia en una anchura de banda determinada. Para calibrar el montaje de medición, se fijó el generador de señal SFQ a un nivel de potencia de  $-50$  dBm y se conectó directamente al ETL fijado a una anchura de banda de canal de 7 MHz, que realizó las mediciones. El espectro medido aparece en la Fig. 5; la potencia de canal medida fue de  $-49,27$  dBm. Ello significa que el error de medición fue inferior a 1 dB.





FIGURA 6  
Plano de la casa del centro

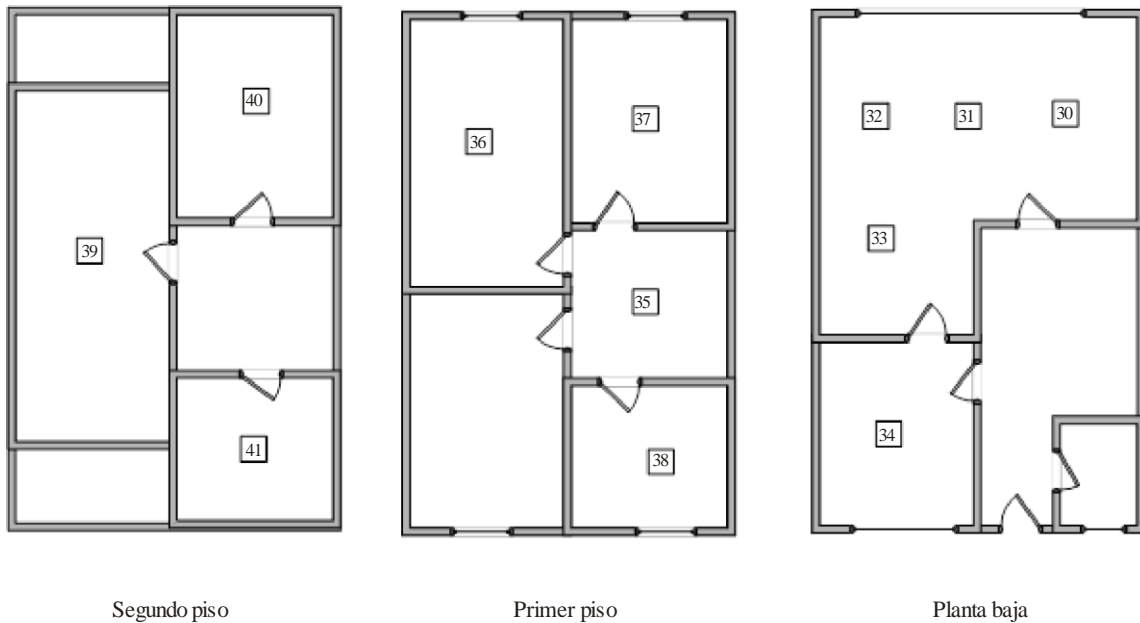


Informe SM. 2269-06

El generador de la señal DVB-T se fijó a una potencia de salida de 0 dBm y se conectó sucesivamente a los enchufes de pared situados en, los puntos del módem 1 PLT (blanco), el módem 2 PLT (amarillo) y el módem 3 PLT (azul) de la planta baja. Las mediciones se llevaron a cabo en los puentes 1 a 29 de la casa del centro y en los puntos 30 a 42 de la casa adyacente de la izquierda. El color de los puntos de medición corresponden a la posición de acoplamiento del generador cuando media (módem 1, 2 ó 3 PLT).

FIGURA 7

Plano de la casa adyacente a la izquierda

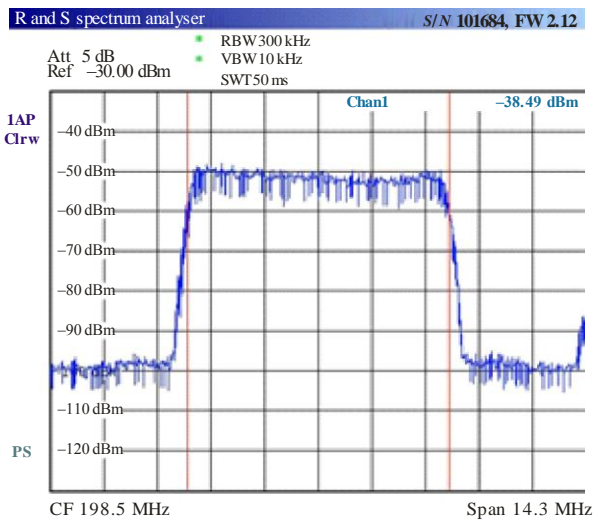


Informe SM. 2269-07

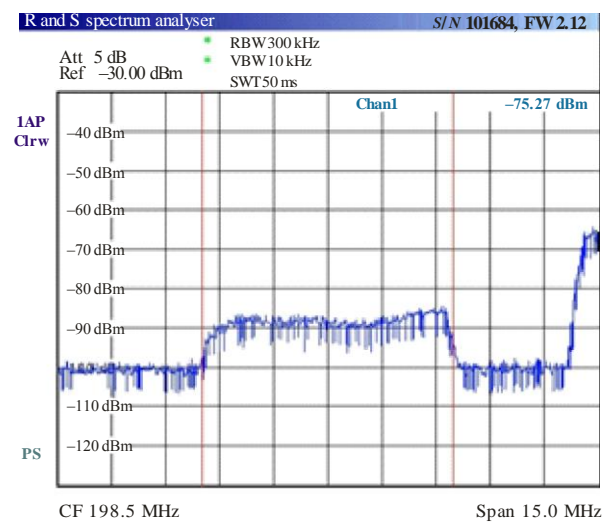
La antena se situó en los puntos de medición indicados como en los cuadrados numerados de las Figs. 6 y 7. Para cada punto de medición se registró el espectro en el equipo ETL-SA. Además, se indicó la potencia de canal recibida. Como ejemplo, en la Fig. 8 aparecen los resultados para un punto de nivel de interferencia PLT potencialmente elevado y un punto de nivel de interferencia PLT potencialmente bajo.

FIGURA 8

Espectro en dos puntos de medición con nivel de interferencia alto y bajo



a) Punto de medición 1; interferencia elevada



b) Punto de medición 39; baja interferencia

Informe SM.2269-08

La señal del borde izquierdo de la Fig. 8b), situada fuera de la anchura de banda de medición DVB-T, es una señal DAB transmitida en la región.

Las mediciones se llevaron a cabo en la casa del centro; en la habitación de la planta baja la señal se inyectó en la red, en la habitación de al lado, en el primer y segundo piso y fuera de la casa.

También se efectuaron mediciones en la casa adyacente de la izquierda, en la planta baja y en el primer y segundo piso.

## **2.4 Resultados de las mediciones para las pérdidas de acoplamiento**

### **2.4.1 Resultados del laboratorio IRT**

El valor medio de las pérdidas de acoplamiento en los seis puntos de medición es de  $-47$  dB, con una desviación típica de los valores de 6 dB.

### **2.4.2 Resultados de las mediciones realizadas en la casa del centro**

Las pérdidas de acoplamiento entre la salida del módem PLT y la salida de la antena de recepción varían dentro de la misma casa en la gama entre 48 dB y 57 dB. La fluctuación de los valores medidos es alta, con una desviación típica de unos 6 dB. En el exterior del edificio las pérdidas de acoplamiento en puntos situados a una distancia de 4 m del muro de la casa frente a los edificios es de 57 dB, las pérdidas de acoplamiento en puntos a una distancia de 10 m de la parte posterior de la casa es de 60 dB. Los valores medios reales de las pérdidas de acoplamiento medidos son:

- en la misma habitación: 48 dB
- en la habitación de al lado: 44 dB
- en el piso de arriba: 54 dB
- dos pisos arriba: 57 dB
- en puntos situados fuera del edificio a una distancia de 4 m: 57 dB
- en puntos situados fuera del edificio a una distancia de 10 m: 60 dB

### **2.4.3 Resultados de las mediciones en la casa adyacente**

Las pérdidas de acoplamiento entre la salida PLA 1 en la casa del centro y la salida de la antena de recepción en la casa adyacente de la izquierda varían en una gama comprendida entre 62 dB y 70 dB, dependiendo de la distancia y del piso. Los valores medios medidos fueron:

- en el mismo piso: 62 dB
- en el piso de arriba: 62 dB
- dos pisos arriba: 70 dB

## **2.5 Ejemplo de cálculo de la máxima potencia de salida del módem PLT permitida**

La máxima potencia permitida a la salida de un módem PLT para evitar la interferencia a una recepción DAB se calculara partiendo de las siguientes hipótesis:

- la interferencia causada a la recepción DAB a 200 MHz no deben incrementarse más del 1% con respecto a la potencia total de ruido recibido;
- la instalación PLT transmite su potencia distribuyéndola de manera uniforme en el espectro entre 30 MHz y 300 MHz;
- el factor de ruido del receptor DAB (F) es 8 dB;
- la ganancia de antena de recepción DAB es  $-2,2$  dBd;
- el margen de ruido artificial a 200 MHz con la antena antes mencionada es 2 dB;
- la recepción DAB se produce en al apartamento adyacente, donde las pérdidas de acoplamiento son de 62 dB.

La señal CODFM del módem PLT ocasiona una perturbación similar al ruido blanco, Si el nivel de interferencia inicial no debe incrementarse más del 1%, la potencia interferente del módem PLT debe encontrarse 20 dB por debajo del nivel de ruido de recepción total equivalente a la entrada del receptor.

El nivel de ruido equivalente a la entrada del receptor es el nivel de ruido térmico más el factor de ruido del receptor más el ruido artificial (MMN), el margen debido al ruido artificial recibido por la antena. El resultado no depende de la anchura de banda de la señal si se utiliza DEP en vez de potencia.

La DEP del ruido térmico a 20° C es  $-174$  dBm/Hz. Tras sumar F y MMN, la DEP del ruido de fondo a la entrada del receptor es  $-164$  dBm/Hz

La interferencia PLT debe encontrarse al menos 20 dB por debajo; es decir, a  $-184$  dBm/Hz.

Se supone un valor de pérdidas de acoplamiento ente un módem PLT y una antena dipolo de 62 dB. La antena de recepción DAB tiene una ganancia de  $-2,2$  dB con respecto a un dipolo, de manera que las pérdidas de acoplamiento totales entre un módem PLT y el receptor DAB son de 64,2 dB. Añadiendo las pérdidas de acoplamiento a la DEP del ruido de fondo se determina que la DEP a la salida del módem PLT debe ser inferior a  $-119,8$  dBm/Hz.

En consecuencia, la potencia de salida total entre 30 MHz y 300 MHz no debe rebasar el valor de  $-35,5$  dBm.

## 2.6 Conclusiones

La potencia interferente a la entrada del receptor puede calcularse basándose en la DEP a la salida del módem PLT si se conocen las pérdidas de acoplamiento entre la salida del módem PLT y la salida de antena del receptor. Viceversa, fijando el máximo nivel de interferencia permitido a la entrada del receptor, la máxima DEP de la señal de salida del módem PLT admisible puede calcularse utilizando las pérdidas de acoplamiento.

Las pérdidas de acoplamiento entre un módem PLT conectado a una toma de red y la salida de una antena dipolo con polarización vertical en la gama de frecuencias de ondas métricas se midieron en un laboratorio y en una casa adosada típica situada en una zona rural de Alemania. Los valores registrados se encontraron en la gama entre 48 dB y 57 dB dentro de la casa y entre 62 dB y 70 dB entre casas adyacentes.

Basándose en los resultados de la medición, si la potencia interferente en un apartamento adyacente no debe rebasar la potencia de ruido total recibida para la recepción DAB en la banda de frecuencias de ondas métricas más del 1%, la máxima DEP de la señal de salida del módem PLT no debe superar el valor de  $-120$  dBm/Hz.

Los valores de pérdidas de acoplamiento medidos y el máximo nivel de DEP de la señal de salida del módem PLT calculados son válidos para casas similares a aquéllas donde se realizaron las mediciones, con un cableado de la red eléctrica similar. Para otros tipos de casas y otras formas de cableado los valores pueden diferir muy significativamente.

## 3 Metodologías de la fuente del punto de radiación

Este punto considera la influencia de PLT sobre las comunicaciones celulares móviles en la banda 450-470 MHz. El comportamiento difícil de los cables eléctricos como fuente de radiación distribuida ha sido un factor de complicación en todas las evaluaciones experimentales y teóricas de la influencia de PLT a frecuencias inferiores a unos 250 MHz. No obstante, en algunas frecuencias puede suceder que un módem PLT conectado a una cierta longitud de cableado se comporte más bien como una fuente puntual.

El «efecto piel» asegura que la atenuación a lo largo de los cables aumenta con la frecuencia. Por lo tanto, a medida que se eleva la frecuencia de funcionamiento solo una corta longitud del cable próximo al punto de inyección será capaz de radiar y el problema de las emisiones radiadas PLT se reduce al de varios módems PLT radiando como fuentes puntuales desde una longitud corta del cable en cada punto de conexión. Por el mismo motivo, es posible que la comunicación a través del cableado de la red eléctrica se apoye más en la radiación y recepción en cada punto de recepción que en las señales PLT atenuadas que se transmiten por el cableado eléctrico.

No se dispone de información sobre cuándo se produce dicha transición en el comportamiento a lo largo de cables eléctricos típicos, pero es evidente que la utilización de un modelo sencillo de fuente puntual para evaluar las pérdidas de acoplamiento que intervienen en las emisiones PLT radiadas será más adecuado a medida que aumente la frecuencia.

### 3.1 Metodología y cálculos para proteger los servicios móviles celulares

Las Recomendaciones UIT-R M.1767 y F.1670 aparecen como referencia en el Acuerdo Regional GE06 para proteger los servicios móviles y fijos contra la TV digital. El método de cálculo mostrado en el § 3.2 se basa en la misma metodología y proporciona los umbrales de interferencia y las máscaras de emisión radiada PLT.

Teniendo en cuenta las distancias (PLT al servicio interferido; véanse las distancias entre paréntesis en el Cuadro 1 fila 3) y de las hipótesis previamente realizadas pueden obtenerse los siguientes niveles de activación y los máximos valores permitidos de potencia de cresta PLT:

CUADRO 1

#### Niveles de activación y máxima potencia de cresta PLT para diferentes receptores interferidos en la gama 80-470 MHz

Potencia e intensidad de campo por 1 MHz	Terminal celular en interiores o estaciones de base doméstica	Estación de base celular macrocelular/microcelular en exteriores y estación fija	Estación de radiolocalización en exteriores
Nivel de activación de potencia (dBm)	-129	-141	-149
Nivel de activación de intensidad de campo (dB $\mu$ V/m)	1,5	-10,5	-18,5
Máxima potencia de cresta PLT (dBm)	-103 (1 m)	-95 (10 m)	-83 (100 m)

Este análisis de la interferencia causada por las emisiones radiadas PLT a la recepción de uno de los servicios terrenales comúnmente utilizados en los hogares también podría emplearse para proteger los servicios de radiodifusión en las bandas de ondas métricas y decimétricas. Además, esta metodología también puede ofrecer una base útil para estudiar la protección de los servicios de radiocomunicaciones contra las emisiones no deseadas de los servicios industriales, científicos y médicos (ICM) y de las instalaciones de la distribución de TV por cable.

La desensibilización tolerada de los receptores terrenales es de 0,05 dB; la señal interferente permitida se encuentra 20 dB por debajo del umbral de ruido; el nivel de activación es KTBF -20 dB. Si la desensibilización tolerada de los receptores de los servicios terrenales es de 0,5 dB, la señal interferente permitida se encuentra 10 dB por debajo del umbral de ruido y todos los valores del Cuadro 1 serán 10 dB superiores.

El caso más desfavorable para proteger los servicios terrenales en interiores contra sistemas PLT es un teléfono celular, pues se encuentra a sólo 1 m del sistema PLT. Para proporcionar una adecuada protección al funcionamiento con señales débiles de los servicios terrenales en la gama de frecuencias de ondas métricas y decimétricas, la radiación de los dispositivos o instalaciones PLT no debe rebasar un máximo de 1,5 dB $\mu$ V/m en una anchura de banda de 1 MHz medida en interiores a una distancia de 1 m desde la instalación PLT; véanse valores adicionales en el Cuadro 1. La intensidad de campo es independiente de la frecuencia, suponiendo propagación en espacio libre y sin atenuación por los muros. La potencia depende de la RF; para una RF de 460 MHz, la máxima potencia de cresta PLT permitida es -103 dBm/MHz. Para obtener una degradación en el margen de desvanecimiento de 0,5 dB (no 0,05 dB), los valores son 11,5 dB $\mu$ V/m en una anchura de banda de 1 MHz, medida en interiores a una distancia de 1 m desde la instalación PLT; y para una RF de 460 MHz la potencia de cresta PLT permitida es -93 dBm/MHz.

El caso más desfavorable para proteger los servicios terrenales en exteriores contra los sistemas PLT es una estación de base celular o una estación fija a 10 m del sistema PLT. En este caso, la máxima potencia de cresta PLT es -95 dBm/MHz para una degradación del margen de desvanecimiento de 0,05 dB y -85 dBm/MHz para una degradación del margen de desvanecimiento de 0,5 dB.

### 3.2 Método de cálculo para evaluar las emisiones radiadas por un sistema PLT

Con objeto de calcular los activadores de potencia y de intensidad de campo implicados cuando se evalúa su vulnerabilidad a la interferencia, los sistemas de radiocomunicaciones pueden caracterizarse por sus parámetros de factor de ruido,  $G_i$  y  $L_F$ . Obsérvese que la máscara de emisión radiada PLT admisible depende de la frecuencia deseada,  $R_F$ , puesto que la propagación varía con la frecuencia.

En los cálculos se utilizan los siguientes parámetros:

- $F$ : factor de ruido del receptor de la estación móvil terrenal (dB);
- $B$ : anchura de banda de referencia (BW) del sistema interferente PLT (MHz);
- $g_i$ : ganancia de antena del receptor de la estación terrenal (microteléfono o B) (numeral);
- $G_i$ : ganancia de antena del receptor de la estación celular (microteléfono o B) (dBi);
- $L_F$ : pérdidas en el alimentador del cable de antena (dB);
- $f$ : frecuencia de referencia (MHz);
- $P_{\text{fono}}$ : Nivel de activación de potencia/MHz en el teléfono celular (dBm);
- $P_{EB}$ : Nivel de activación de potencia/MHz en la estación de base terrenal (EB) (dBm);
- $P_{RL}$ : Nivel de activación de potencia/MHz en la estación de radiolocalización (RL) (dBm);
- $E_{\text{fono}}$ : Nivel de activación de intensidad de campo/MHz en el teléfono celular (dB $\mu$ V/m);
- $E_{EB}$ : Nivel de intensidad de campo/MHz en la estación de base terrenal (dB $\mu$ V/m).

#### 3.2.1 Niveles de activación para proteger los servicios terrenales contra la radiación PLT

La potencia de ruido térmico del receptor  $KTBF^2$  en una antena isótropa sin pérdidas para una  $BW = 1$  MHz y un factor de ruido típico ( $F$ ) de 5 dB es igual a:

$$KTBF/1 \text{ MHz} = -114 + 5 = -109 \text{ dBm/MHz} \quad (1)$$

$$KTBF - 20 \text{ dB (1 MHz)} = -109 \text{ dBm} - 20 \text{ dB} = -129 \text{ dBm/MHz} \quad (2)$$

<sup>2</sup> Para  $k$ : constante de Boltzmann  $1,38 \times 10^{-23}$  J/K,  $T \sim 300$  Kelvin y  $B = 1$  MHz, el factor  $KTBF$  es de -114 dBm.

Como a los teléfonos no se les puede aplicar ninguna ganancia de antena, el criterio de protección para los teléfonos celulares es que las emisiones radiadas PLT para una señal de referencia de 1 MHz de anchura de banda no debe rebasar el valor:

$$P_{\text{fono}} (1 \text{ MHz}) = -129 \text{ dBm/MHz} \quad (3)$$

Para las estaciones de base de red celular, unos valores de los parámetros de  $G_i = 15 \text{ dBi}$  y  $L_F = 3 \text{ dB}$  son apropiados para determinar los requisitos de protección contra las emisiones radiadas PLT. Por consiguiente, el nivel de activación de potencia a la entrada de la antena de la estación de base viene dado por:

$$P_{EB} (1 \text{ MHz}) = -129 \text{ dBm/MHz} - 15 \text{ dB} (G_i) + 3 \text{ dB} (L_F) = -141 \text{ dBm/MHz} \quad (4)$$

A título de comparación, para un receptor de radiolocalización, los valores de  $G_i = 23 \text{ dBi}$  y  $L_F = 3 \text{ dB}$  son apropiados para determinar los requisitos de protección contra las emisiones radiadas PLT. Por tanto, el nivel de activación de potencia a la entrada de la antena de radiolocalización bien dado por:

$$P_{RL} (1 \text{ MHz}) = -129 \text{ dBm/MHz} - 20 \text{ dB} = -149 \text{ dBm/MHz} \quad (5)$$

Utilizando la ecuación normalizada:

$$P_r = \frac{E^2 g \lambda^2}{Z_0 4\pi} = \frac{E^2 g c^2}{480\pi^2 f^2}$$

la fórmula de conversión entre la intensidad de campo eléctrico ( $\text{dB}\mu\text{V/m}$ ) a la entrada de la antena y la potencia ( $\text{dBm}$ ) es:

$$P (\text{dBm}) = E(\text{dB}\mu\text{V/m}) - 77,21 - 20 \log f (\text{MHz}) + G_i - L_F \quad (6)$$

Como el nivel de ruido equivalente a la entrada del receptor (es decir, con factor de ruido, una BW de referencia de 1 MHz y una frecuencia  $R_F$  de 460 MHz) es idéntico, la diferencia en intensidades de campo se obtiene a partir de las distintas ganancias y pérdidas en la antena de recepción.

Para la frecuencia de referencia  $R_F$  of 460 MHz, la fórmula de conversión (6) arroja un valor de:

$$-129 (\text{dBm}) = E(\text{dB}\mu\text{V/m}) - 77,21 - 53,25 \quad (7)$$

Por tanto:

$$E_{\text{fono}} (1 \text{ MHz}) = 1,5 (\text{dB}\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

$$E_{EB} (1 \text{ MHz}) = E_{\text{fijo}}(1 \text{ MHz}) = 1,5 (\text{dB}\mu\text{V/m}) - 12 \text{ dB} = -10,5 (\text{dB}\mu\text{V/m}) \quad (9)$$

$$E_{RL} (1 \text{ MHz}) = E = 1,5 (\text{dB}\mu\text{V/m}) - 20 \text{ dB} = -18,5 (\text{dB}\mu\text{V/m}) \quad (10)$$

### 3.2.2 Máscara de nivel de emisión radiada PLT permitida para proteger los servicios terrenales

Suponiendo propagación en espacio libre para las emisiones radiadas PLT, consideradas como una fuente puntual, dirigidas a los receptores de radiocomunicaciones terrenales utilizando la ecuación (4) de la Recomendación UIT-R P.525 y una distancia  $d$  en metros (no en km)

$$L_{bf} = -27,6 + 20 \log f + 20 \log d (\text{dB}) \quad (11)$$

La máxima potencia de cresta PLT permitida  $P_{PLT}$  a una  $f = 460$  MHz para proteger un teléfono celular situado a 1 m de una fuente PLT es, por tanto:

$$\begin{aligned} P_{PLT} \text{ (dBm/MHz)} &= P_{\text{fono}} \text{ (dBm/MHz)} + L_{bf} = -129 - 27,6 + 20 \log f + 20 \log d \\ &= -129 - 27,6 + 20 \log 460 + 20 \log 1 = -129 - 27,6 + 53,3 \approx -103 \text{ (dBm/MHz)} \end{aligned} \quad (12)$$

De forma similar, la máxima potencia de cresta PLT permitida  $P_{PLT}$  a una  $f = 460$  MHz para proteger una estación de base IMT/celular situada a 10 m de una fuente PLT es:

$$P_{PLT} \text{ (dBm/MHz)} = P_{BS} \text{ (dBm/MHz)} + L_{bf} = -141 - 27,6 + 53,3 + 20 \log 10 \approx -95 \text{ (dBm/MHz)} \quad (13)$$

Y la máxima potencia de cresta PLT permitida  $P_{PLT}$  a una  $f = 460$  MHz para proteger un receptor de radiolocalización situado a 100 m de una fuente PLT es:

$$P_{PLT} \text{ (dBm/MHz)} = P_{RL} \text{ (dBm/MHz)} + L_{bf} = -149 - 27,6 + 53,3 + 20 \log 100 \approx -83 \text{ (dBm/MHz)} \quad (14)$$

### 3.3 Método de cálculo para evaluar la emisión radiada combinada procedente de instalaciones PLT

Este punto aborda la evaluación relativa a la emisión radiada combinada procedente de instalaciones PLT en una situación en la que se activan simultáneamente múltiples módems PLT. Como las instalaciones PLT constan de un cierto número de módems PLT que emiten individualmente una frecuencia común, la superposición de estas emisiones múltiples puede causar interferencia perjudicial de las instalaciones PLT a los servicios de radiocomunicaciones. A este respecto, las múltiples emisiones radiadas por los módems PLT tienen distintas fases con una variación aleatoria para una distancia de medición específica, respectivamente. Esta característica aleatoria produce el fenómeno de interferencias constructivas y destructivas que aparecen estocásticamente en un receptor víctima.

Aunque múltiples módems PLT tiene la misma potencia de transmisión, las emisiones radiadas por estos módems PLT pueden ser distintas a la misma distancia según el entorno de las instalaciones PLT. Por consiguiente, al evaluar la influencia de las instalaciones PLT en los servicios de radiocomunicaciones debe considerarse la intensidad de campo. En muchos países, las emisiones radiadas por los sistemas PLT también son admitidas en el dominio de la intensidad de campo eléctrico, como ilustra la Recomendación UIT-R SM.1879. A fin de evaluar la intensidad de campo eléctrico de la emisión radiada combinada procedente de instalaciones PLT, se aplica el método probabilístico presentado en la Recomendación UIT-T K.62 considerando los cambios en el campo eléctrico causados por las diferencias de fase aleatorias de múltiples señales interferentes en un receptor víctima. Por tanto, este punto presenta un método de cálculo para determinar la emisión radiada combinada procedente de instalaciones PLT desde el punto de vista de un enfoque probabilístico.

#### 3.3.1 Modelo matemático

Considérese que se producen emisiones radiadas por instalaciones PLT consistentes en múltiples módems PLT que rodean a un receptor afectado (interferido), como muestra la Fig. 9. En esta Fig. 9,  $r_i$  es la distancia entre la  $i$ -ésima fuente PLT y el punto de medición y  $d_i$  es la distancia entre la  $i$ -ésima fuente PLT y el receptor afectado. La amplitud de la emisión radiada combinada por la instalación PLT en el receptor afectado puede calcularse matemáticamente como sigue:

$$E_o(t) = \sum_{i=1}^N E_{oi} \cos(\omega_c t + \theta_i) = E_o \cos(\omega_c t + \alpha) \quad (15)$$

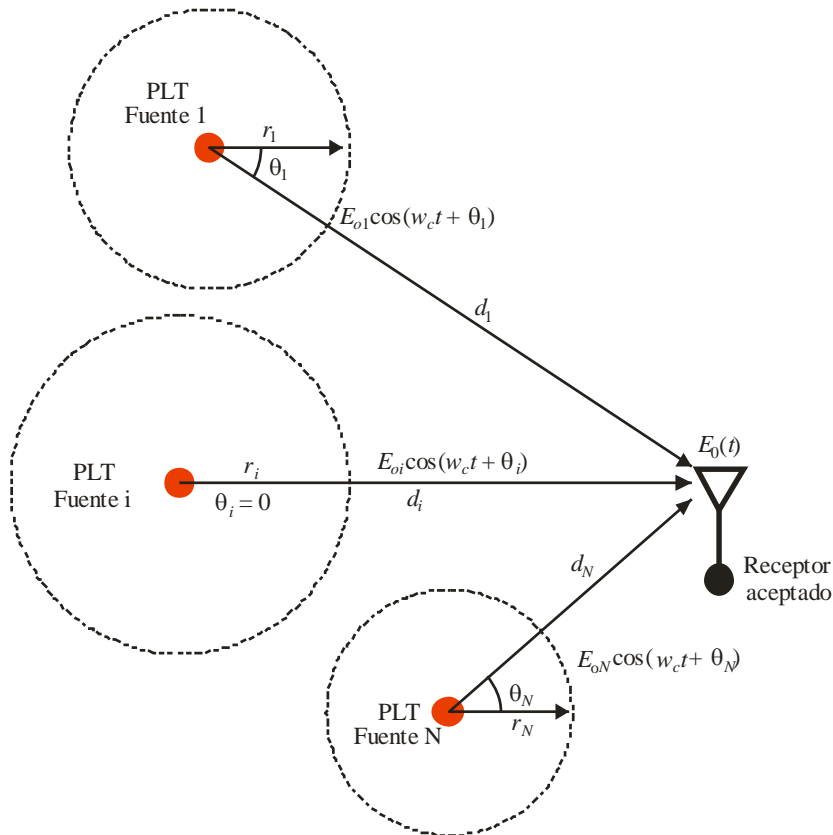


siendo:

- $E_o$ : amplitud de la emisión radiada combinada en el receptor afectado ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )
- $N$ : número de la fuente PLT
- $E_{oi}$ : amplitud de la emisión radiada por la  $i$ -ésima fuente PLT a la distancia de medición ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )
- $\omega_c$ : frecuencia en radianes (Hz)
- $\theta_i$ : diferencia de fase entre la emisión radiada por la  $i$ -ésima fuente PLT y alguna referencia acordada en el receptor afectado (radianes)
- $\alpha$ : diferencia de fase entre la emisión radiada combinada y alguna referencia acordada en un receptor afectado (radianes).

El objetivo de este punto es calcular la probabilidad del evento de interferencia  $\{E_o > E_{PR}\}$  que se produce si la amplitud de la emisión radiada combinada por las instalaciones PLT,  $E_o$ , es mayor que el nivel requerido para proteger el receptor afectado,  $E_{PR}$ .

FIGURA 9  
Geometría de la emisión radiada por instalación PLT en un receptor afectado



Informe SM.2269-09

Con objeto de calcular la probabilidad de un evento de interferencia,  $P_r\{E_o > E_{PR}\}$ ,  $\theta_i$  se crea un modelo estadístico de  $\theta_i$  mediante la variable aleatoria uniforme (RV) con la función densidad de probabilidad  $1/2\pi$  en  $[-\pi, \pi]$  como indica la Recomendación UIT-T K.62. Utilizando la propagación de campo lejano sencilla, se determina la amplitud de la emisión radiada por la  $i$ -ésima fuente PLT a la distancia  $d_i$ ,  $E_{oi}^{dB}(d_i)$ , en términos de unidades logarítmicas ( $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ ) como:

$$E_{oi}^{dB}(d_i) = E_{oi}^{dB}(r_i) - 20 \cdot \beta \cdot \log_{10}(d_i/r_i) \quad (16)$$

Donde  $E_{oi}^{dB}(r_i)$  es la amplitud de la emisión radiada  $E_{oi}(r_i)$  a la distancia  $r_i$  en la unidad logarítmica (dB $\mu$ V/m) y  $\beta$  es el coeficiente de propagación de ondas. En el caso de propagación en espacio libre,  $\beta$  es 1. La amplitud de la emisión radiada combinada por las instalaciones PLT en el receptor afectado,  $E_o$ , se obtiene mediante la ecuación (3) de la Recomendación UIT-T K.62 como:

$$E_o = \sqrt{\sum_{i=1}^N E_{oi}^2(d_i) + 2 \sum_{j>i}^N \sum_{i=1}^N E_{oi}(d_i)E_{oj}(d_j) \cos(\theta_i - \theta_j)}, \quad i < j \leq N \quad (17)$$

En consecuencia, la probabilidad del evento de interferencia,  $P_r\{E_o > E_{PR}\}$  se calcula utilizando la ecuación (17) y la generación aleatoria de la variable aleatoria uniforme RV  $\theta_i; i = 1, \dots, N$ .

### 3.3.2 Ejemplo

Como ejemplo para calcular  $P_r\{E_o > E_{PR}\}$  consideramos la estación de base en exteriores como un receptor afectado con el nivel de protección  $E_{PR} = 0,3 \mu\text{V/m}$  ( $= -10,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ ) en presencia de la instalación PLT. El nivel de protección es igual al valor obtenido en el § 3.1.1. En el Cuadro 2 aparecen los parámetros de la instalación PLT.

CUADRO 2

#### Resumen de los parámetros

Parámetros	Valor	Observaciones
Numero de fuentes PLT ( $N$ )	5	Entorno de instalación PLT supuesto
Intensidad de campo producida por las fuentes PLT a una distancia de medición de 10 m ( $(E_{oi}^{dB}(r_i))$ )	37 dB $\mu$ V/m*	Cinco fuentes PLT con amplitudes de emisión comunes
Frecuencia común	460 MHz	Véase la ecuación (9)
Coeficiente de propagación de ondas ( $\beta$ )	2	Sin línea de visibilidad
Distancia entre las fuentes PLT y el receptor afectado ( $d_i$ )	100, 150, 200, 250 y 300 m	Entorno de instalación PLT supuesto

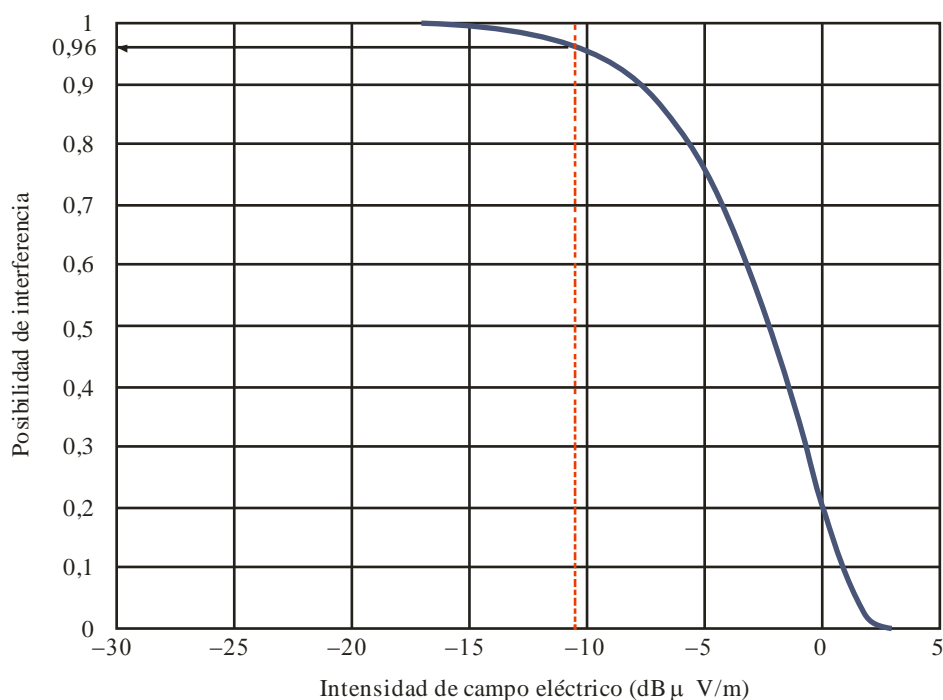
\* El valor es el límite de emisión de clase B del equipo de tecnología de la información descrito en la Publicación 22 del Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR).

Como muestra la Fig. 10, la probabilidad de interferencia de una estación de base en presencia de una instalación PLT,  $P_r\{E_o > 0,3 \mu\text{V/M}$  ( $= -10,5 \text{ dB}\mu\text{V/M}$ ), es aproximadamente 0,96. Comparando la probabilidad de interferencia 0,96 en el receptor afectado con un nivel de confianza del 80% del CISPR,  $P_r\{E_o > E_{PR}\} = 0,2$  o  $P_r\{E_o > E_{PR}\} = 0,8$ . Es evidente que la instalación PLT descrita en el Cuadro 2 provoca interferencia a la estación de base en exteriores con el nivel de protección de  $-10,5 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ .

El ejemplo demuestra que el método de cálculo presentado puede aplicarse para evaluar la emisión radiada combinada de las instalaciones PLT.

FIGURA 10

**Probabilidad de Interferencia de una estación de base  
en presencia de una instalación PLT**



Informe SM.2269-10

#### **4 Determinación experimental de las corrientes de RF que circulan en el cableado eléctrico, de la perturbación de RF y de las características de antena equivalentes de una instalación PLT en el hogar**

##### **Medición de las perturbaciones en RF, corrientes en modo común (CM) y en modo diferencial (DM) causadas por sistemas PLT y características de antena de una red de alimentación eléctrica doméstica**

El Capítulo 2 del Informe UIT-R SM. 2158 observa que los efectos similares a una antena del cableado de una línea eléctrica radiante y los efectos de apantallamiento de los edificios son complicados y difieren de una casa a otra y de un país a otro según el tipo de construcciones locales y las prácticas de cableado de las redes eléctricas. Si para controlar la posible interferencia de las instalaciones PLT se desarrollan metodologías de modelos basadas en consideraciones teóricas o estadísticas, la validación de sus predicciones y el alcance deben determinarse mediante experimentos y mediciones en situaciones reales. Este punto presenta los resultados de los experimentos en condiciones reales llevados a cabo en Japón.

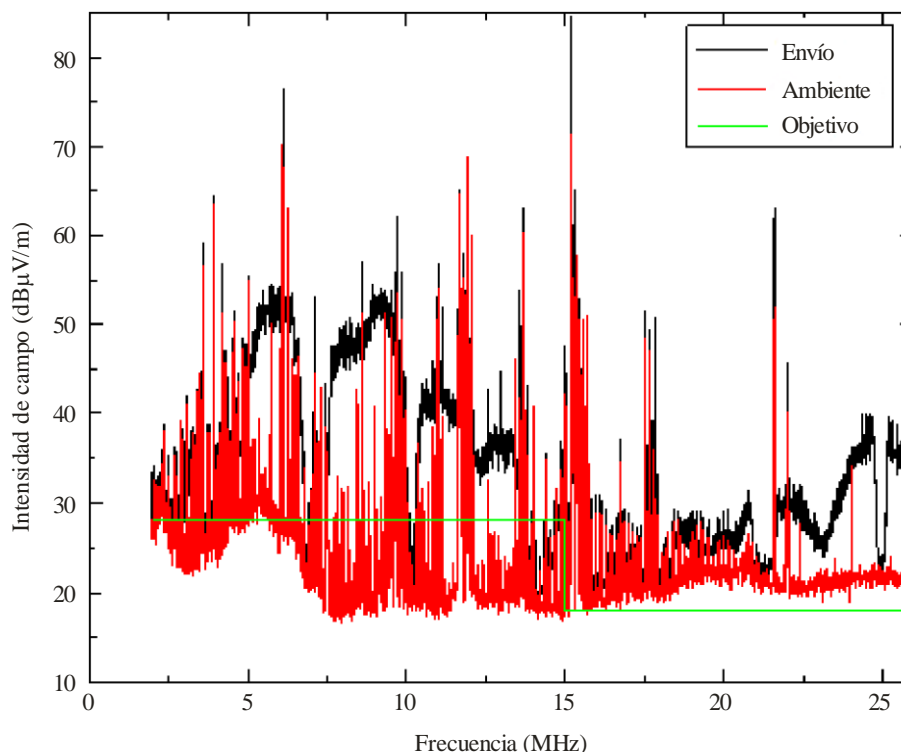
#### 4.1 Medición de la perturbación en RF causada por un sistema PLT<sup>3</sup>

Un problema importante de los servicios de radiocomunicaciones es la intensidad de campo de la perturbación relativa al nivel de ruido ambiente, fuera de los edificios donde se han instalado los sistemas PLT. En estos experimentos la intensidad de campo se mide utilizando una antena de bucle pasiva situada a una distancia de 10 m del muro exterior de una casa donde se encuentra instalado un sistema PLT.

La intensidad de campo de la perturbación en RF («Envío») se mide cuando se está utilizando el sistema PLT. La intensidad de campo del ruido ambiente («Ambiente») se mide cuando no se está utilizando el sistema PLT. Los resultados aparecen en la Fig. 11. La intensidad de campo de la perturbación causada por el sistema PLT es muy superior al nivel del ruido ambiente a lo largo de la mayor parte del espectro de ondas decamétricas y llega hasta 55 dB $\mu$ V/m (BW = 10 kHz). Este valor es 30 dB superior al nivel de ruido ambiente. A título de comparación puede decirse que los límites de intensidad de campo fijados por las regulaciones nacionales aplicables en el emplazamiento de medición son 28 dB $\mu$ V/m (por debajo de 15 MHz) and 18 dB $\mu$ V/m (por encima de 15 MHz). Las intensidades de campo medidas fueron superiores a los límites fijados. Además, por debajo de 15 MHz con la instalación PLT funcionando, la intensidad de campo medida es unos 10 dB superior al nivel de ruido ambiente real medido.

FIGURA 11

##### Perturbación en RF causada por un sistema PLT



Informe SM. 2269-11

<sup>3</sup> Kitagawa, M. y Ohishi, M. [septiembre de 2008] – Measurements of the Radiated Electric Field and the Common Mode Current from the In-house Broadband Power Line Communications in Residential Environment, Proc. 8<sup>th</sup> Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2008), pp. 433-438, Hamburgo, Alemania.

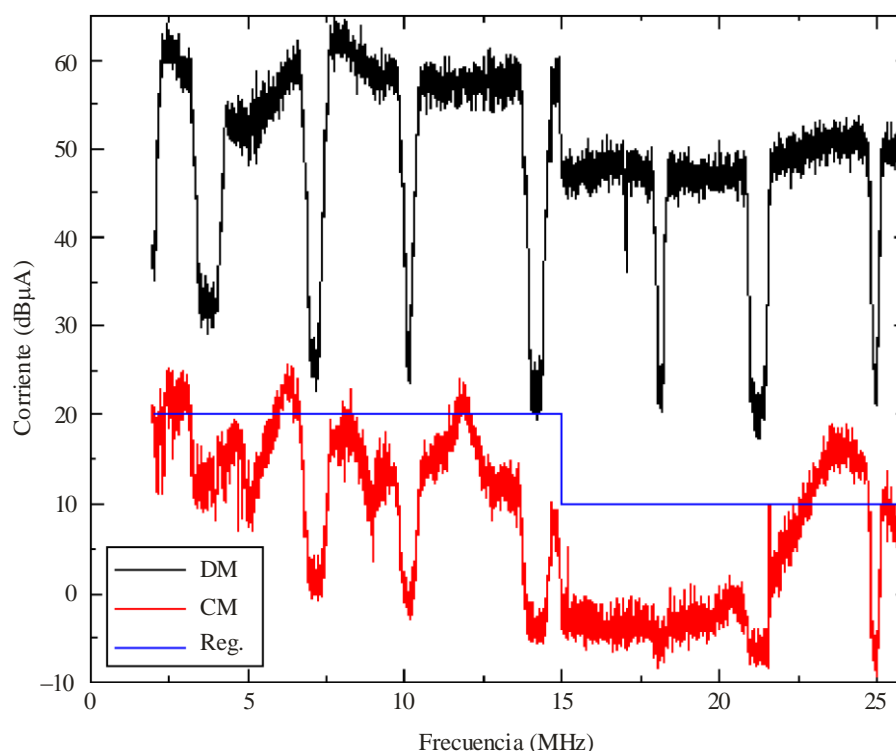
## 4.2 Corrientes de RF medidas en el enchufe de red<sup>3</sup>

Para localizar el origen de la perturbación de RF en esta instalación PLT, se midieron las corrientes de RF en modo común (CM) y en modo diferencial (DM)<sup>4</sup> en el enchufe de red al que se aplica la señal PLT. Los resultados se ilustran en la Fig. 12.

En la Fig. 12 la corriente en CM (grafica inferior) satisface los límites de corriente permitidos (20 dB $\mu$ A por debajo de 15 MHz y 10 dB $\mu$ A por encima de 15 MHz) a lo largo de la mayor parte del espectro de ondas decamétricas. La corriente en DM es de 60 dB $\mu$ A por debajo de 15 MHz y de 50 dB $\mu$ A por encima de 15 MHz. La corriente en DM es 40 dB superior a la corriente en CM, aunque se pretendía que fuese sólo 16 dB mayor que la corriente en CM. Hay una discrepancia de 24 dB entre la corriente en DM medida y la corriente en DM pretendida, lo que puede explicar la diferencia de 27 dB entre la intensidad de campo medida (55 dB $\mu$ V/m) y el nivel deseado (28 dB $\mu$ V/m).

FIGURA 12

Corrientes en modo diferencial y en modo común en el enchufe de red al que se conecta el módem PLT



Informe SM.2269-12

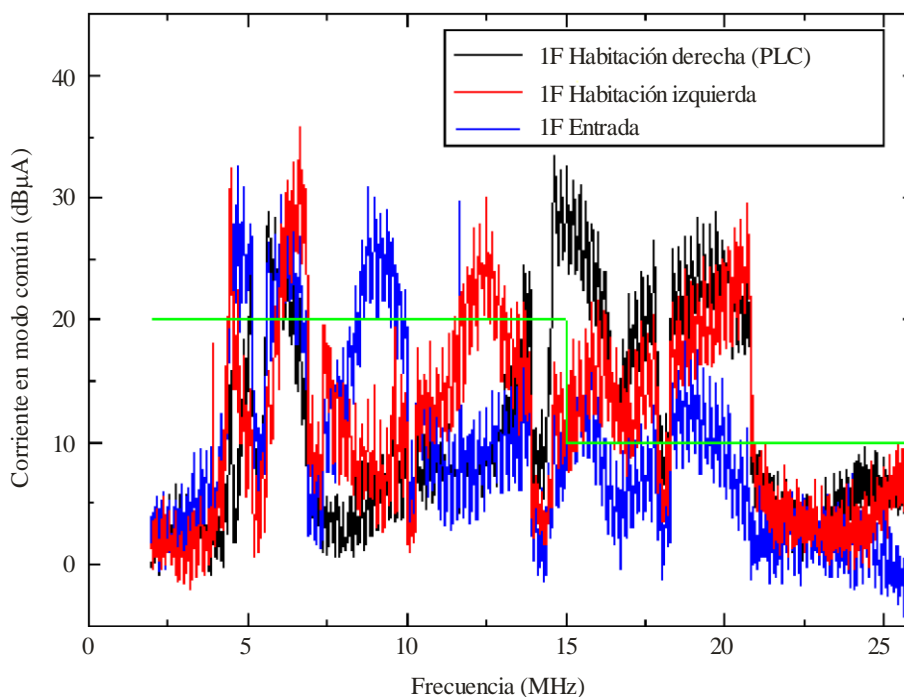
<sup>4</sup> En el Capítulo 2 del Informe UIT-R SM.2158 se explica el mecanismo de producción de las corrientes de RF en modo común (CM) y en modo diferencial (DM) por el cableado de red.

### 4.3 Corriente en CM medidas a lo largo de los cables eléctricos<sup>3</sup>

Las corrientes en CM a lo largo de la línea eléctrica pueden ser muy distintas de las medidas en el enchufe de corriente al que se conecta la señal PLT. Sin embargo, es difícil medir la corriente en CM a lo largo del cableado eléctrico ya instalado. Conectando un cable de alimentación de corta longitud (3 m) a una toma de red si utilizar, es posible medir la corriente en CM que circula cerca de esta toma sin utilizar. Los resultados de las mediciones de corriente en CM en diversas tomas se muestran en la Fig. 13. La corriente en CM cerca de las tomas sin utilizar puede ser 20 dB superior a la medida en el enchufe de corriente donde se inyecta la señal PLT y se observa que rebasa el límite de corriente en CM en más de 10 dB. Una posible explicación de por qué las corrientes en CM superan el límite establecido es que la corriente en DM es muy superior a la esperada.

FIGURA 13

Corrientes en modo común en el enchufe de red en que **NO** está conectado el módem PLT (medidas por el método de cable de extensión corto)



Informe SM. 2269-13

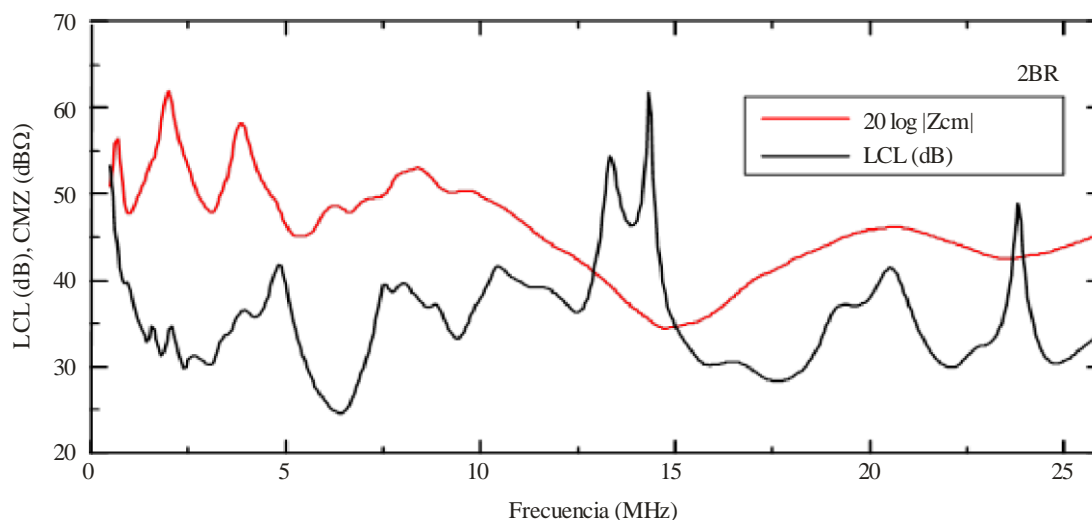
### 4.4 Atenuación de conversión longitudinal medida en un enchufe

El límite para el nivel de corriente en CM se fijó suponiendo una atenuación de conversión longitudinal (LCL) de 16 dB o superior. Si la LCL de la línea eléctrica de la casa es inferior a 16 dB (es decir, peor comportamiento por una mayor conversión de corriente en DM en corrientes en CM), Por tanto, cabe esperar que la corriente en CM sea superior al límite previsto. Para examinar esta posibilidad se midió la LCL.

Los resultados aparecen en la Fig. 14. La mínima LCL es de 24 dB, valor superior (es decir, mejor comportamiento) a 16 dB. No se encontró correlación negativa entre la LCL medida y la intensidad de campo medida de la perturbación PLT.

FIGURA 14

Impedancia en modo común medida en un enchufe de la red eléctrica



Informe SM. 2269-14

#### 4.5 Ganancia de antena equivalente de una instalación PLT doméstica<sup>5</sup>

Un efecto de apantallamiento más pequeño de lo esperado podría explicar por qué la perturbación de RF medida es mayor que el límite correspondiente. Además, la perturbación en RF producida por la línea eléctrica también depende de la estructura geométrica del cableado, para un mismo valor de corriente en CM a lo largo de la línea eléctrica. No es probable que esta información pueda extraerse de cantidades tales como la LCL medidas en los enchufes de corriente

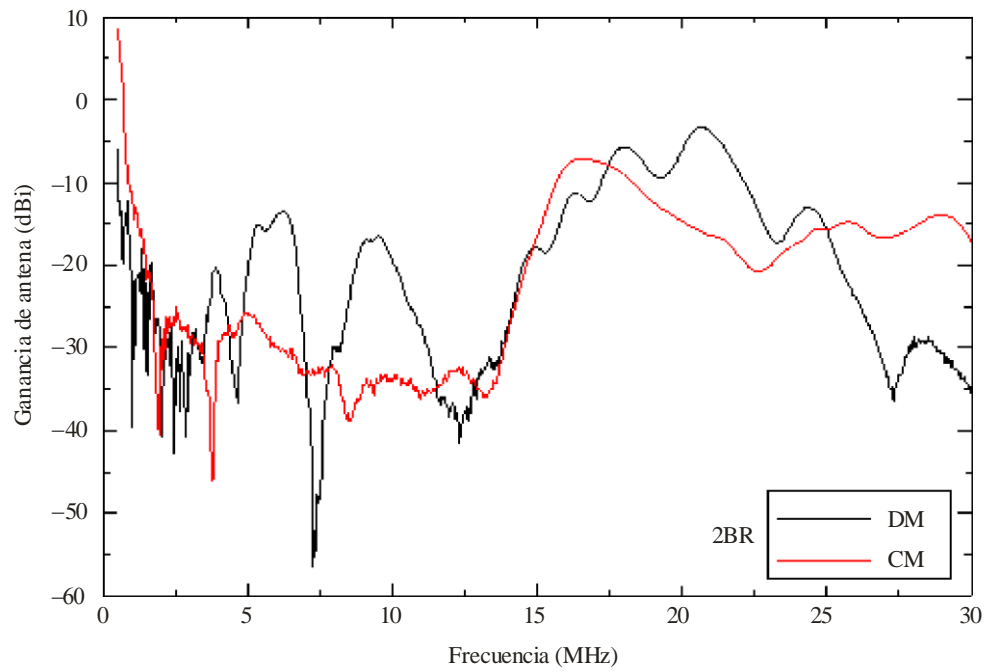
La cantidad más directa y fiable que representa el factor de conversión global de la intensidad de señal PLT a la intensidad de campo de la perturbación en RF es la ganancia de antena de toda la instalación PLT, vista desde las corrientes en DM del enchufe donde se aplica la señal PLT en DM a la antena de recepción situada fuera del edificio. Este valor incluye tanto el efecto de antena del cable eléctrico como el efecto de apantallamiento del edificio. El modo diferencial y el modo común en el punto de conexión (enchufe) se excitan de manera selectiva utilizando un circuito de sonda LCL; a continuación con un analizador de red se mide la transmitancia entre el modo seleccionado del enchufe y la antena de referencia (bucle pasivo) a una distancia de 10 m desde el muro exterior de la casa.

Los resultados se representan en la Fig. 15. En la mayor parte del espectro de ondas decamétricas, la ganancia de antena del modo diferencial es superior a la del modo común. Además, la ganancia de antena en DM y la intensidad de campo de la perturbación presentan una fuerte correlación positiva. Ello explica las fuertes perturbaciones de RF en torno a 6 MHz y 9 MHz, donde la ganancia equivalente del cableado doméstico es de  $-15$  dBi aproximadamente. En la parte superior del espectro de ondas decamétricas, el modo diferencial y el modo común tienen ganancias de antena comparables, con valores de  $-10$  a  $-5$  dBi.

<sup>5</sup> Kitagawa, M. [Octubre de 2007] –Mediciones in situ del factor de antena de líneas de energía eléctrica domésticas, IEICE Tech. Rep., Vol. 107, EMCJ2007-54, pp. 7-12 (en Japonés).

FIGURA 15

Ganancia de antena de una instalación de líneas eléctricas domesticas aplicando la RF a un enchufe, en modo diferencial o en modo común



Informe SM. 2269-15