

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2212
(06/2011)

**Repercusión de los sistemas de
telecomunicaciones por líneas de
transporte y distribución de energía
eléctrica en los sistemas de
radiocomunicaciones que funcionan
en bandas de ondas métricas y
decimétricas superiores a 80 MHz**

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
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, 2012

© UIT 2012

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.2212

**Repercusión de los sistemas de telecomunicaciones por líneas de transporte
y distribución de energía eléctrica en los sistemas de radiocomunicaciones
que funcionan en bandas de ondas métricas y decimétricas
superiores a 80 MHz**

(Cuestión UIT-R 221-1/1)

(2011)

ÍNDICE

		<i>Página</i>
1	Introducción.....	5
2	Características de la radiación de frecuencias radioeléctricas de los sistemas PLT en bandas métricas y decimétricas	6
2.1	Interferencia causada por sistemas de módem PLT.....	6
2.2	Intensidad de campo de la interferencia causada por las PLT con polarización horizontal	7
2.3	Intensidad de campo de la interferencia causada por las PLT con polarización vertical	8
2.4	Interferencia causada por las PLT en sistemas FM y DAB.....	8
2.5	Conclusión	8
3	Características de los sistemas radioeléctricos, criterios de protección y repercusión de los sistemas PLT en los sistemas de radiocomunicaciones en bandas de ondas métricas y decimétricas	9
3.1	Radiodifusión.....	9
3.1.1	Mínima intensidad de campo utilizable de los sistemas de radiodifusión con respecto a los sistemas PLT a frecuencias superiores a 80 MHz	9
3.1.2	Densidades de intensidad de campo de la interferencia máxima en el sistema receptor de radiodifusión	11
3.2	Servicios de aficionados y servicio de aficionados por satélite.....	13
3.2.1	Niveles de ruido de fondo en la banda 144-148 MHz	13
3.2.2	Características de las estaciones de aficionados en la banda 144-148 MHz	13
3.2.3	Criterios de protección aplicables a estaciones de aficionados en la banda 220-225 MHz.....	14

3.2.4	Criterios de protección aplicables a estaciones de aficionados en la banda 420-450 MHz.....	14
3.2.5	Otros servicios que funcionan en el hogar con requisitos similares	14
3.3	Servicio móvil aeronáutico	17
3.4	Servicio móvil marítimo	17
3.5	Servicio de radiodeterminación	17
3.6	Servicio móvil terrestre.....	17
3.7	Servicio de radioastronomía	18
3.8	Servicio móvil por satélite	19
3.8.1	Bandas de frecuencias	19
3.8.2	Criterio de protección.....	19
3.8.3	Parámetros de sistema	19
3.8.4	Caso particular de la banda 406-406,1 MHz.....	21
3.9	Servicio de radionavegación por satélite	21
3.9.1	Bandas de frecuencias	22
3.9.2	Criterio de protección.....	22
3.9.3	Parámetros del sistema.....	22
3.10	Otros sistemas/aplicaciones de radiocomunicaciones	22
3.10.1	Sistemas de comunicaciones de implantes médicos inalámbricos.....	22
4	Posibles medios de evitar o eliminar interferencias	23
4.1	Medidas EMC adaptables	23
4.2	Ranurado permanente	25
4.3	Ranurado dinámico	25
4.4	Ranurado en función de la localización geográfica.....	26
4.5	Control de la potencia de transmisión según la Recomendación UIT-T G.9960	27
4.5.1	Construcción de la máscara PSD de transmisión.....	27
4.5.2	Notificación de la máscara PSD de transmisión	28
4.5.3	Valor máximo de PSD	29
4.5.4	Referencias.....	29
4.6	Conclusiones relativas a la prevención o eliminación de interferencias	30
5	Conclusiones generales	30

Página

Anexo 1 – Consideraciones relativas a la radiación y propagación de ruido en bandas de ondas métricas y decimétricas.....	30
A1 Análisis detallado de la conversión de modo en la derivación de interruptor.....	30
A1.1 Matriz de dispersión en modo mixto de una línea de transmisión equilibrada y cargada unilateralmente con una antena en serie.....	31
A1.1.1 Formulaciones teóricas	31
A1.1.2 Resultados	34
A1.1.3 Conclusiones	39
Anexo 2 – Análisis de posibles interferencias en las bandas de ondas métricas y decimétricas	39
A2 Interferencia causada a sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en bandas de ondas métricas y decimétricas por los armónicos de sistemas de telecomunicaciones por líneas de transporte y distribución de energía eléctrica que funcionan en bandas de ondas métricas entre 80 y 200 MHz	39
A2.1 Sistemas radioeléctricos en el hogar.....	39
A2.1.1 Conclusión	41
A2.2 Compatibilidad entre el servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas y los dispositivos PLT en interiores en la gama de frecuencias 30-380 MHz	41
A2.2.1 Análisis de compatibilidad con respecto a la interferencia causada al servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas	41
A2.2.2 Cálculo del umbral de interferencia de los sistemas PLT debido a los requisitos aplicables al servicio aeronáutico.....	42
A2.2.3 Cálculo de la densidad de flujo de potencia causada por los límites proporcionados en normas aplicables a sistemas PLT.....	45
A2.2.4 Comparación entre el umbral de interferencia aplicable a los receptores de aeronave y la interferencia causada por sistemas PLT ..	46
A2.2.5 Conclusiones	47
A2.3 Modelo de combinación PLT aplicable a los sistemas de radiocomunicación y radionavegación aeronáutica	47
Anexo 3 – Radiación de radiofrecuencias procedente de sistemas PLT en las bandas de ondas métricas y decimétricas.....	49
A3 Radiación de radiofrecuencias procedente de sistemas PLT en las bandas de ondas métricas y decimétricas	49
A3.1 Mediciones de módems PLT realizadas por el Institut für Rundfunktechnik GmbH	49

	<i>Página</i>
A3.1.1 Descripción general de las mediciones	49
A3.1.2 Calidad de funcionamiento PLT	50
A3.1.3 Mediciones del espectro de frecuencias.....	51
A3.1.4 Radiación de interferencias procedentes de módems PLT «Power line Gigabit» F5D4076-S v1 de Belkin.....	56
A3.1.5 Intensidad de campo con polarización horizontal.....	58
A3.1.6 Intensidad de campo con polarización vertical.....	59
A3.1.7 Interferencia real de la recepción FM y la recepción DAB	60
A3.1.8 Conclusiones relativas a las mediciones efectuadas en el IRT.....	61
A3.2 Mediciones de módems PLT realizadas por el Centro de Investigación de las Comunicaciones (Canadá).....	61
A3.2.1 Procedimiento adoptado por el CRC para las mediciones y resultados relativos a emisiones transmitidas por conducción.....	62
A3.2.2 Conclusiones relativas a las mediciones efectuadas en el CRC.....	64
A3.3 Mediciones de módems PLT «Gigabit» realizadas por CBS Broadcasting and National Public Radio.....	64
A3.3.1 Procedimiento de medición.....	64
A3.3.2 Resultados de la medición de radiaciones por conducción emitidas por el módem PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin	65
A3.3.3 Interferencia del receptor FM causada por el módem PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin.....	68
A3.3.4 Conclusiones relativas a las mediciones efectuadas por CBS/NPR	69
A3.4 Mediciones de las radiaciones procedentes de redes PLT efectuadas por la BBC	70
A3.4.1 Introducción	70
A3.4.2 Mediciones realizadas en la jaula de Faraday.....	70
A3.4.3 Mediciones efectuadas en la vivienda A.....	73
A3.4.4 Mediciones efectuadas en la vivienda B.....	75
A3.4.5 Conclusiones	77

1 Introducción

En el marco de los estudios de compatibilidad entre sistemas de radiocomunicaciones y sistemas de telecomunicaciones con transmisión de datos a alta velocidad que utilizan cables eléctricos o cables de distribución telefónicos (Cuestión UIT-R 221/1), el presente Informe examina cómo el funcionamiento de las telecomunicaciones por líneas de transporte y distribución de energía eléctrica (PLT, *power line telecommunications*) en las bandas métricas y decimétricas incide en la utilización del espectro radioeléctrico y en las necesidades de protección de los servicios de radiocomunicaciones. Este Informe completa el Informe UIT-R SM.2158 que ya facilita información y orientaciones con respecto a frecuencias comprendidas entre las bandas de ondas kilométricas y 80 MHz aproximadamente.

Con los recientes avances en materia de tecnología PLT se observa que los sistemas PLT pueden utilizar frecuencias muy superiores a 80 MHz. La futura evolución tecnológica podría permitir incluso que esos sistemas utilicen la banda de frecuencias en ondas decimétricas.

En la actualidad hay dos grandes familias de aplicaciones PLT:

- PLT de acceso (al exterior de los edificios), cuyo objetivo es el mercado del último kilómetro (es decir, 1,2 km) entre la subestación de suministro eléctrico y el abonado, lo cual podría constituir otro medio de acceso al bucle local de telecomunicaciones.
- PLT en interiores, cuya finalidad es distribuir señales (procedentes, por ejemplo, de un sistema PLT de acceso, de acceso DSL o hasta de fuentes de datos situadas en los hogares y no conectadas a una red de acceso) a los enchufes eléctricos situados en el interior de edificios.

De acuerdo con las informaciones disponibles, las frecuencias superiores a 80 MHz sólo son utilizadas actualmente por sistemas PLT en interiores.

La Recomendación UIT-T G.9960 (06/2010) – *Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification*, contiene una especificación de capa física para sistemas PLT que utilizan frecuencias de hasta 100 MHz. Esta versión corresponde a la fusión de tres Recomendaciones UIT-T aprobadas anteriormente: G.9960, Principios fundamentales (2009); G.9960, Enmienda 1 (2009) y G.9960, Corrigéndum 1 (2009). El perfil de banda base de las PLT que funcionaba a 100 MHz ha sido modificado con objeto de reducir el límite superior de frecuencia de 100 MHz a 80 MHz. Se prevé que una mayor cooperación entre el UIT-R y el UIT-T permitirá volver a examinar este límite de frecuencia, establecido en la Recomendación UIT-T G.9960.

Conviene recordar que ya se venden en el mercado sistemas PLT de interiores que se ajustan a otras especificaciones no indicadas en la Recomendación UIT-T G.9960 y utilizan frecuencias de hasta 300 MHz aproximadamente, o incluso superiores.

Estos sistemas PLT pueden transmitir datos a velocidades que alcanzan varios centenares de Mbit/s en los cables eléctricos tradicionales de los edificios. La transmisión continua de películas en HD y los juegos en línea en el hogar son ejemplos de aplicaciones que pueden necesitar esas velocidades de transmisión. La implantación de ese tipo de sistemas PLT y sus características técnicas pueden variar considerablemente.

Puesto que las líneas de energía eléctrica no están concebidas para la transmisión de señales de alta velocidad binaria, las señales PLT pueden causar interferencia a los servicios de radiocomunicaciones.

El número 15.12 del Reglamento de Radiocomunicaciones estipula lo siguiente: «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».

El Capítulo 3 del presente Informe del UIT-R facilita información relativa a las características radioeléctricas y a los criterios de protección de un gran número de sistemas de radiocomunicaciones posiblemente afectados que funcionan entre 80 y 470 MHz. La intención es ampliar progresivamente este Informe para que, con el tiempo, abarque todos los sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en esa gama de frecuencias. En función de la futura evolución de la tecnología PLT, tal vez será necesario examinar las posibles repercusiones de los sistemas PLT en los sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en frecuencias superiores a 470 MHz.

2 Características de la radiación de frecuencias radioeléctricas de los sistemas PLT en bandas métricas y decimétricas

2.1 Interferencia causada por sistemas de módem PLT

Se presenta a continuación un ejemplo de interferencia causada por una línea de energía eléctrica utilizada para conectar dos módems PLT de alta velocidad a una velocidad de comunicación de datos inferior a 250 Mbit/s. Las mediciones se realizaron con una antena de referencia situada a una distancia de tres (3) metros de la línea de energía eléctrica. Se midieron y registraron en la gama de frecuencias 30-320 MHz de polarización horizontal y vertical los siguientes valores máximos de la intensidad de campo:

- Ruido del sistema de recepción utilizado en la medición (referencia más baja del sistema de medición).
- Ruido ambiental.
- Interferencia cuando los módems están en reposo.
- Interferencia cuando los módems transfieren datos a una velocidad inferior a 250 Mbit/s.

En el Anexo 3 puede consultarse una información más completa sobre el procedimiento de prueba. Como valores de referencia superior, se han considerado en los diagramas los límites indicados en el Cuadro 6 de la norma EN 55022 (abril de 2007)². Los valores límite se indican en valores casi máximos que, por lo general, son hasta 4 dB inferiores a los valores máximos (ver Informe UIT-R SM.2158).

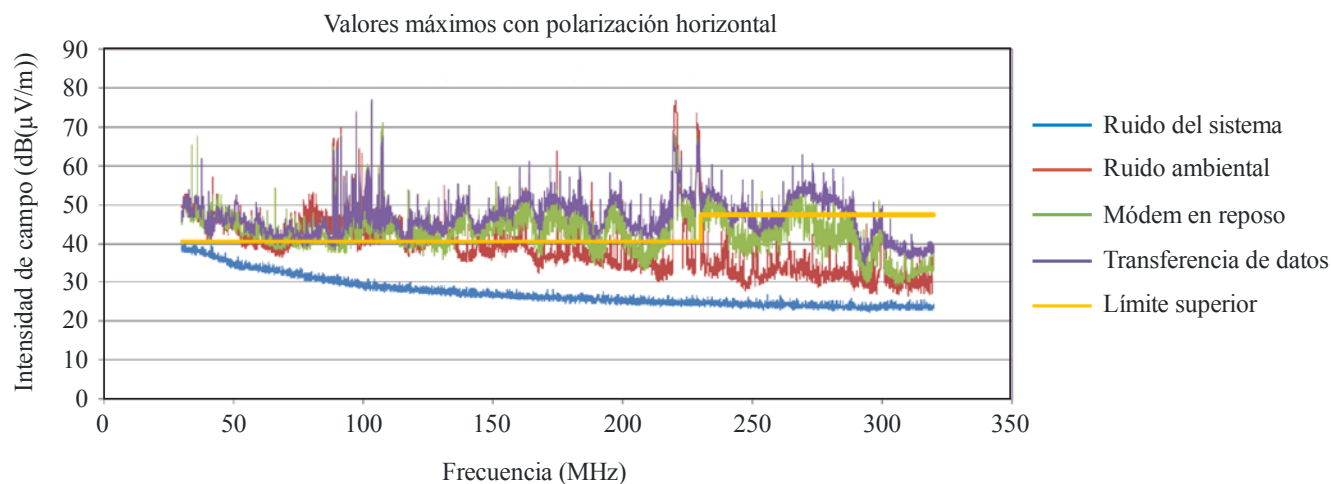
«¹ **15.12.1** y **15.13.1** En esta materia las administraciones se guiarán por las últimas Recomendaciones UIT-R pertinentes.»

² CENELEC EN 55022:2006; Information technology equipment – Radio interference characteristics – Limits and methods of measurement (CISPR 22: 2005 (modified)).

2.2 Intensidad de campo de la interferencia causada por las PLT con polarización horizontal

FIGURA 1

Valores máximos de la intensidad de campo con polarización horizontal en dB(μ V/m)



Informe SM.2212-01

En la Fig. 1, el trazado en azul corresponde a la menor intensidad de campo medible que equivale al ruido del sistema de recepción utilizado en la medición, y el trazado en rojo, a la evolución del ruido ambiental (ruido artificial) en ausencia de los módems. Dado que las mediciones se realizaron en el IRT, donde funcionan diversos sistemas eléctricos y electrónicos, el ruido ambiental es relativamente elevado (trazado en rojo); en frecuencias inferiores a 150 MHz está incluso por encima del trazado correspondiente al valor del límite superior. Los valores máximos de la intensidad de campo situados entre 87,5 y 108 MHz corresponden a las señales FM (con modulación de frecuencia) y los situados en torno a la banda 220-229 MHz, a las señales de radiodifusión sonora digital (*DAB, digital audio broadcasting*) que pueden ser captadas en el IRT.

Como muestra el trazado en verde, la intensidad de campo de la interferencia aumenta cuando se activan los módems. Aumenta incluso durante la transferencia de datos, como se observa en el trazado en violeta. Por encima de 130 MHz, el nivel de la intensidad de campo de la interferencia causada por los módems es de unos dB superior al ruido ambiental, lo cual indica que los valores medidos son correctos. Los valores máximos de la interferencia del módem durante la transferencia de datos, así como en modo reposo, son superiores a los valores límite del CISPR de hasta 20 dB aproximadamente. En el Cuadro 1 se observan los límites del CISPR aplicables.

CUADRO 1

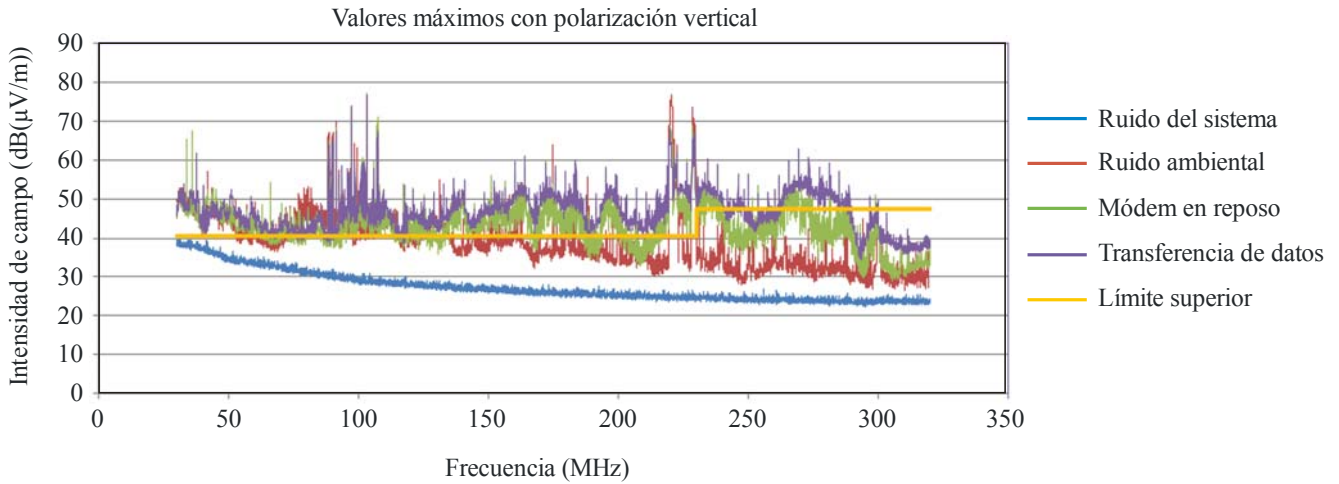
Edición 6 de CISPR 22, límites de emisión aplicados a equipos de la tecnología de la información (anchura de banda de 120 kHz)

Gama de frecuencias	Emisiones por radiación (casi máximas, antena situada a 10 m de distancia)	
	Clase A (no previstas para uso doméstico)	Clase B (previstas para uso doméstico)
30-230 MHz	40 dB(μ V/m)	30 dB(μ V/m)
230-1 000 MHz	47 dB(μ V/m)	37 dB(μ V/m)

2.3 Intensidad de campo de la interferencia causada por las PLT con polarización vertical

FIGURA 2

Valores máximos de la intensidad de campo con polarización vertical en dB($\mu\text{V}/\text{m}$)



Informe SM.2212-02

Los valores de la Fig. 1 también se aplican a los valores de la intensidad de campo de la Fig. 2. Las señales DAB a 220 y 229 MHz son más elevadas porque se transmiten con polarización vertical. Durante la transferencia de datos, así como en modo reposo, los valores máximos de la interferencia causada por el módem son superiores a los valores límite en toda la gama de frecuencias.

2.4 Interferencia causada por las PLT en sistemas FM y DAB

El Departamento de Investigación y Desarrollo de la BBC efectuó mediciones del espectro con respecto a la radiación procedente de módems PLT de alta velocidad y las comparó con señales deseadas de transmisores FM de banda II y transmisores DAB de banda III. Esas mediciones se llevaron a cabo en dos viviendas representativas. La verificación de las pruebas de procedimiento y calibración se llevó a cabo en laboratorio. Los resultados observados en el Anexo 3 indican que las radiaciones emitidas por sistemas PLT son comparables a las intensidades de campo deseadas de recepción utilizadas en los métodos de planificación en vigor. De hecho, la red PLT lleva el umbral de ruido a un nivel tal que zonas que antes tenían una buena cobertura se convierten en zonas de cobertura dudosa. En la práctica, la relación señal/ruido (S/N) se reduce, acercándose al umbral aceptable, y la calidad audio puede degradarse rápidamente: con apenas una leve variación de ciertos factores, como la ubicación del receptor o las condiciones de propagación troposférica, el sonido, que en un primer momento presentaba perturbaciones, será ininteligible.

2.5 Conclusión

Con las mediciones del espectro realizadas en módems PLT de alta velocidad se observan interferencias emitidas a frecuencias de hasta 305 MHz, que incluyen la banda FM y la banda DAB. Las mediciones también muestran que la interferencia debida a los módems es superior a los límites autorizados por la norma EN 55022 en la gama de frecuencias comprendida entre 30 y 300 MHz. Se prevé además que a medida que aumente la velocidad binaria de los módems de alta velocidad, habrá un aumento de la interferencia a frecuencias superiores a 300 MHz.

3 Características de los sistemas radioeléctricos, criterios de protección y repercusión de los sistemas PLT en los sistemas de radiocomunicaciones en bandas de ondas métricas y decimétricas

3.1 Radiodifusión

3.1.1 Mínima intensidad de campo utilizable de los sistemas de radiodifusión con respecto a los sistemas PLT a frecuencias superiores a 80 MHz

Esta sección facilita informaciones básicas sobre la mínima intensidad de campo utilizable de los sistemas de radiodifusión en la gama de frecuencias comprendidas entre 80 MHz y 1 GHz aproximadamente. En varias Recomendaciones y varios Informes UIT-R se facilitan indicaciones e informaciones de utilidad que permiten definir criterios de protección aplicables a una recepción de radiodifusión fiable. Los valores indicados a continuación, indicados en Recomendaciones pertinentes, proporcionan una breve reseña de los valores aplicables a los diferentes sistemas de radiodifusión que funcionan por encima de 80 MHz.

En el Artículo 5 del RR, las siguientes bandas de frecuencias por encima de 80 MHz son atribuidas al servicio de radiodifusión en la Región 1:

CUADRO 2

Bandas de frecuencias para el servicio de radiodifusión

Banda	Frecuencias
Ondas métricas	87,5-100 MHz
	100-108 MHz
	174-223 MHz
	223-230 MHz
Ondas decimétricas	470-790 MHz
	790-862 MHz

Recomendación UIT-R BS.412-9 – Normas para la planificación de la radiodifusión sonora con modulación de frecuencia en ondas métricas

Para que el servicio sonoro con modulación de frecuencia sea satisfactorio en presencia de interferencias causadas por equipos industriales o domésticos (para los límites de radiación de esos equipos, ver la Recomendación UIT-R SM.433*, que facilita las correspondientes recomendaciones del Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR)), el valor medio de la intensidad de campo (medida a 10 m del suelo) no debe ser inferior a los valores indicados en el Cuadro 3.

* Nota de la Secretaría – La Recomendación UIT-R SM.433 fue suprimida el 6/6/2003 (AR-03).

CUADRO 3

**Valor medio de la intensidad de campo con modulación de frecuencia medida a una altura de antena de 10 m
(Fuente: Recomendación UIT-R BS.412-9, Cuadro 1)**

Zonas	Servicios	
	Monofónico dB(μ V/m)	Estereofónico dB(μ V/m)
Rural	48	54
Urbana	60	66
Grandes ciudades	70	74

Aunque el servicio sólo está previsto para una altura de antena de 10 m, la radiodifusión sonora con modulación de frecuencia es recibida a menudo por equipos portátiles o móviles con una altura de antena de aproximadamente 1,5 m. Se espera que los receptores portátiles con antena integrada tengan la misma sensibilidad que el receptor supuesto a efectos de planificación. Por lo tanto, se pueden prever los mismos valores para la intensidad de campo utilizable.

Recomendación UIT-R BS.1660-3 – Bases técnicas para la planificación de la radiodifusión sonora digital terrenal en la banda de ondas métricas

Esta Recomendación constituye la base técnica de la planificación del Sistema A (T-DAB) de radiodifusión sonora digital terrenal en la banda III de ondas métricas. El Cuadro 4 contiene valores, incluidas una corrección de 13 dB relativo al porcentaje de emplazamientos y una corrección de ganancia de 10 dB en la altura de antena. El valor medio de la intensidad de campo equivalente mínima indicado a continuación representa la intensidad de campo deseada mínima utilizada para la planificación. Los valores indicados en el Cuadro 4 se aplican a la recepción móvil.

CUADRO 4

**Valor medio de la intensidad de campo equivalente mínima para sistemas T-DAB (dB(μ V/m)) a una altura de antena de 10 m
(Fuente: Recomendación UIT-R BS.1660-3, Cuadro 1)**

Banda de frecuencias	Banda III
Intensidad de campo equivalente mínima (dB(μ V/m))	35
Factor de corrección relativo al porcentaje de emplazamientos (50% a 99%) (dB)	+13
Corrección de ganancia en la altura de antena (dB)	+10
Valor medio de la intensidad de campo equivalente mínima utilizada para la planificación (dB(μ V/m))	58

Para la recepción de un dispositivo portátil con antena en interiores, se puede tener en cuenta el valor de 35 dB(μ V/m) para la intensidad de campo equivalente mínima.

Recomendación UIT-R BT.1368-8 – Criterios para la planificación de servicios de televisión digital terrenal en las bandas de ondas métricas/decimétricas

Las cifras indicadas en el Cuadro 5 son calculadas para el canal de Rice.

CUADRO 5

Intensidades de campo mínimas para sistemas de televisión digital terrenal DVB-T a 8 MHz (Fuente: Recomendación UIT-R BT.1368-8, Cuadro 44)

Frecuencia (MHz)	200			550			700		
Variante del sistema intervalo de guarda 1/4	MDP-4 2/3	MAQ-16 2/3	MAQ-64 2/3	MDP-4 2/3	MAQ-16 2/3	MAQ-64 2/3	MDP-4 2/3	MAQ-16 2/3	MAQ-64 2/3
Mínima intensidad de campo para recepción fija, E_{min} (dB(μ V/m))	27	33	39	33	39	45	35	41	47

Para la recepción de un dispositivo portátil con antena en interiores, se pueden tener en cuenta los valores del Cuadro 5 para la intensidad de campo equivalente mínima.

3.1.2 Densidades de intensidad de campo de la interferencia máxima en el sistema receptor de radiodifusión

Cuando se utiliza una antena externa, el ruido del receptor se debe al ruido exterior. Lo mismo ocurre en zonas comerciales y barrios residenciales si se utiliza una antena integrada. Incluso en zonas rurales el ruido exterior es importante. El nivel mínimo de ruido exterior está determinado por el ruido artificial puesto que este ruido es el factor predominante cuando disminuye el ruido atmosférico. Por este motivo, el criterio de protección aplicable a la intensidad de campo también está determinado por el ruido artificial.

Con respecto a las emisiones involuntarias en las bandas de radiodifusión superiores a 80 MHz, la Recomendación UIT-R BS/BT.1895 *recomienda*:

«1 que los valores de los *recomienda* 2 y 3 se utilicen como referencias, por encima de las cuales deberían llevarse a cabo estudios de compatibilidad acerca del efecto de las radiaciones y emisiones de otras aplicaciones y servicios en el servicio de radiocomunicaciones;

2 que la interferencia total en el receptor procedente de todas las radiaciones y emisiones sin una atribución correspondiente de frecuencia en el Reglamento de Radiocomunicaciones no deberá superar el 1% de la potencia de ruido total del sistema receptor³;

3 que la interferencia total en el receptor ocasionada a partir de todas las fuentes de emisiones de radiofrecuencia procedente de los servicios de radiocomunicaciones con la correspondiente atribución de frecuencia a título primario en igualdad de condiciones no deberá superar el 10% de la potencia de ruido total del sistema receptor.»

Para que la degradación de la sensibilidad del receptor se mantenga en el límite de 1% ó 0,05 dB, el criterio de protección del servicio de radiodifusión debe ser de 20 dB inferior a E_n , donde E_n representa la intensidad de campo equivalente del ruido artificial en una anchura de banda b . Además, el criterio de protección puede expresarse en términos de densidad de intensidad de campo máxima de dB(μ V/m/MHz) con $b = 1$ MHz.

³ Salvo la radiación procedente de dispositivos PLT por debajo de 30 MHz.

El criterio de protección se expresa en la forma siguiente:

$$\text{Densidad de intensidad de campo máxima} = g + h \log f \quad \text{dB}(\mu\text{V/m/MHz}) \quad (1)$$

donde:

$$g = c - 55,5$$

$$h = 20 - d$$

y para las constantes c y d indicadas en Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R P.372, g y h adoptan los valores contemplados en el Cuadro 6 *infra*.

CUADRO 6

Valores de las constantes g y h

Categoría de entorno	g	h
Zona urbana	21,3	-7,7
Zona residencial	17,0	-7,7
Zona rural	11,7	-7,7
Zona rural tranquila	-1,9	-8,6

En el Cuadro 7 se presentan los criterios de protección aplicables al servicio de radiodifusión terrenal en materia de densidad de intensidad de campo máxima a nivel de la antena de recepción. Dado que el umbral de ruido del receptor excede el ruido exterior presente en las zonas rurales tranquilas por encima de 30 MHz, los valores correspondientes a dichas zonas se obtienen a partir de la ecuación (3-4) del Informe UIT-R SM.2158 y de un criterio de protección de -20 dB. El mismo procedimiento de cálculo se aplica a frecuencias superiores a 470 MHz, en las cuales el umbral de ruido del receptor excede también el ruido exterior.

CUADRO 7

Densidades de intensidad de campo de la interferencia máxima en el sistema receptor de radiodifusión

Banda de frecuencias de radiodifusión ⁽¹⁾	Densidad de intensidad de campo de la interferencia máxima dB($\mu\text{V/m/MHz}$) ⁽²⁾			
	Zona urbana	Zona residencial	Zona rural	Zona rural tranquila
47-72 MHz	8,4	4,1	-1,2	-22,1
76-88 MHz	6,8	2,5	-2,8	-17,9
88-108 MHz	6,3	2,0	-3,3	-16,6
174-230 MHz	4,0	-0,3	-5,6	-10,7
470-960 MHz	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
1 452- 1 492 MHz	7,7	7,7	7,7	7,7

⁽¹⁾ Las bandas de frecuencias de radiodifusión no tienen en cuenta las variaciones regionales indicadas en el Artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

⁽²⁾ Valores calculados a partir de las Recomendaciones UIT-R P.372 y ITU-R BS/BT.1895, excepto en zonas rurales tranquilas para frecuencias superiores a 30 MHz y de todas las categorías de entorno para frecuencias superiores a 470 MHz, cuyos valores se obtienen a partir del umbral de ruido interno del receptor y de las Recomendaciones UIT-R BS/BT.1895.

3.2 Servicios de aficionados y servicio de aficionados por satélite

Las bandas del servicio de aficionados en la gama 80-450 MHz son la banda 144-148 MHz (144-146 MHz en la Región 1 de la UIT), la banda 220-225 MHz en la Región 2 y partes de la banda 420-450 MHz en todas las regiones. Además de ser muy utilizadas en la modulación de frecuencia analógica y en otros modos afines a una cobertura relativamente limitada, y gracias a una red amplia de repetidoras en la mayoría de los países, esas bandas tienen cobertura mundial porque establecen comunicaciones de larga distancia con relaciones S/N muy bajas (e incluso negativas). Son especialmente esas aplicaciones, que tienen una señal débil, las que necesitan protección contra las interferencias, aunque también se beneficiarán de ella otras formas de comunicación.

El servicio de aficionados por señales débiles en ondas métricas utiliza sistemáticamente modos transitorios de propagación, en particular la dispersión troposférica ampliada, la propagación troposférica por conductos y, en el caso de la banda 144-220 MHz, la propagación transecuatorial, así como reflexiones producidas por la aurora, las estelas meteóricas y la Luna. Estos modos de propagación, considerados por lo general «poco fiables», no son utilizados por otros servicios y despiertan muy poca atención en los especialistas. En cambio, los aficionados los utilizan para establecer comunicaciones a 1 000 km o más de distancia. Por su parte, las comunicaciones de rebote lunar (Tierra-Luna-Tierra) abarcan las tres Regiones de la UIT. Aunque para este tipo de operaciones se utiliza la modulación SSB y Morse de manera similar a la comunicación en ondas decamétricas, también se utilizan en forma regular señales extremadamente débiles y borrosas, a menudo con relaciones S/N cercanas a 0 dB, y protocolos especiales para captar las informaciones transmitidas durante cortos periodos de mejora de la señal. Gracias a los modos de transmisión digital más recientes se pueden actualmente establecer comunicaciones a 10-20 dB por debajo del umbral audible.

Debido a estas características singulares, la comunicación del servicio de aficionados por señales débiles en ondas métricas resulta extremadamente sensible a cualquier aumento del nivel de ruido de fondo. El grado de protección necesario es comparable al que requiere la radioastronomía aunque, al contrario de lo que ocurre con los observatorios de radioastronomía, las estaciones de aficionados rara vez están situadas en zonas aisladas.

3.2.1 Niveles de ruido de fondo en la banda 144-148 MHz

La Recomendación UIT-R P.372-10 establece que, en «zonas rurales tranquilas», el ruido de fondo en esas frecuencias está dominado por el ruido celeste, en especial el ruido proveniente del Sol, que aparece como una fuente casi puntual, y por el ruido de nuestra propia galaxia (la Vía Láctea), que aparece como una amplia franja de fuertes radiaciones. Según la Recomendación UIT-R P.372, el valor medio del ruido galáctico varía entre 0 dB aproximadamente en relación con kTb a 144 MHz y -9 dB a 432 MHz. Según la ecuación (2) indicada en esta Recomendación, esos niveles corresponden a las intensidades de campo de $-23,4$, $-27,4$ y $-32,4$ dB(μ V/m) para las bandas de 144, 225 y 432 MHz, respectivamente.

3.2.2 Características de las estaciones de aficionados en la banda 144-148 MHz

Según la Recomendación UIT-R P.372, la intensidad de campo de ruido es de $-23,4$ dB(μ V/m).

Para que la degradación del umbral de ruido no exceda 0,5 dB, la intensidad de campo del ruido proveniente de los sistemas PLT no debe ser superior a -34 dB(μ V/m).

Suponiendo que la antena está situada en el exterior del edificio, tiene una ganancia efectiva de 2 dBi en la dirección del sistema PLT (ganancia de lóbulo lateral) y está ubicada a 10 m de éste, y teniendo en cuenta una pérdida de 16 dB en los muros y una anchura de banda de referencia de 120 kHz, la intensidad de campo de la frecuencia fundamental o de los armónicos del sistema PLT no debería exceder 6 dB(μ V/m) en 120 kHz a 3 m.

3.2.3 Criterios de protección aplicables a estaciones de aficionados en la banda 220-225 MHz

Según la Recomendación UIT-R P.372, la intensidad de campo del ruido es de $-27,4$ dB(μ V/m).

Para que la degradación del umbral de ruido no exceda 0,5 dB, la intensidad de campo del ruido proveniente de los sistemas PLT no debe ser superior a -38 dB(μ V/m).

Suponiendo que la antena está situada en el exterior del edificio, tiene una ganancia efectiva de 2 dBi en la dirección del sistema PLT (ganancia de lóbulo lateral) y está ubicada a 10 m de éste, y teniendo en cuenta una pérdida de 20 dB en los muros y una anchura de banda de referencia de 120 kHz, la intensidad de campo de la frecuencia fundamental o de los armónicos del sistema PLT no debería exceder 6 dB(μ V/m) en 120 kHz a 3 m.

3.2.4 Criterios de protección aplicables a estaciones de aficionados en la banda 420-450 MHz

Según la Recomendación UIT-R P.372, la intensidad de campo de ruido es de $-32,4$ dB(μ V/m).

Para que la degradación del umbral de ruido no exceda 0,5 dB, la intensidad de campo del ruido proveniente de los sistemas PLT no debe ser superior a -43 dB(μ V/m).

Suponiendo que la antena está situada en el exterior del edificio, tiene una ganancia efectiva de 1 dBi en la dirección del sistema PLT (ganancia de lóbulo lateral) y está ubicada a 10 m de éste, y teniendo en cuenta una pérdida de 24 dB en los muros y una anchura de banda de referencia de 120 kHz, la intensidad de campo de la frecuencia fundamental o de los armónicos del sistema PLT no debería exceder 6 dB(μ V/m) en 120 kHz a 3 m.

3.2.5 Otros servicios que funcionan en el hogar con requisitos similares

Debido al envejecimiento de la población, aumenta la necesidad de utilizar la comunicación por ondas radioeléctricas en los sistemas de control médico a domicilio. Por otra parte, la Recomendación UIT-R RS.1346 establece que los sistemas de comunicaciones de implantes médicos (MICS, *medical implant communication systems*) utilicen la banda 401-406 MHz con carácter secundario a condición de no causar interferencia ni reclamar protección. Las normas correspondientes exigen la utilización de un umbral «escuchar antes de hablar» (LBT, *listen before talk*) obtenido con la fórmula $(-150 \text{ dBm} + 10 \log B + G)$, donde B corresponde a la anchura de banda del sistema y G , a la ganancia relativa a la antena. Por lo general, se estima que con una relación S/N de 11 dB se obtiene un nivel de detección de la señal aceptable y fiable. Para una anchura de banda de 120 kHz, el umbral LBT de los sistemas MICS equivale a 16,6 dB(μ V/m) y el valor de la intensidad de campo del ruido, medida en el programador MICS (equipo que establece el enlace de comunicación), no debe exceder 5,5 dB(μ V/m) para una degradación de 3 dB de la relación S/N . Si el ruido del sistema PLT es superior a 10 dB (μ V/m), el umbral LBT se excederá con esa relación S/N , la señal enviada por el implante no se detectará fácilmente y no habrá ninguna transmisión. Se observa por consiguiente que los niveles de protección necesarios para el servicio de aficionados no son muy distintos de los que exigen otros servicios importantes tradicionalmente utilizados en el hogar.

Hay otros dispositivos de corto alcance (SRD) utilizados en el hogar como, por ejemplo, las alarmas contra intrusos, las alarmas contra incendios y las alarmas personales. La norma EN300-220, utilizada en todo el mundo, exige efectivamente un nivel de ruido del orden de 9 dB (μ V/m) a 400 MHz, medido a 3 m en 120 kHz. Estos niveles también se aplican a los armónicos y los productos de intermodulación debido al funcionamiento de sistemas PLT a frecuencias inferiores.

CUADRO 8

**Máximo valor tolerable inicial de la interferencia en sistemas de los servicios aeronáuticos
Nivel de señal que debe protegerse en la antena receptora**

Sistema	Banda de frecuencias	Ubicación del receptor	Nivel mínimo de la señal deseada		D/U necesaria (Nota 1)	Anchura de banda del receptor	Margen de seguridad aérea	Límite impuesto por la utilización de numerosas tecnologías	Máximo valor tolerable inicial de la interferencia	
			($\mu\text{V/m}$)	(dBm)	(dB)	(kHz)	(dB)	(dB)	(dBm/Hz)	
Comunicaciones en ondas métricas	25 kHz	117,975-137 MHz	En aeronaves	75	-82	20	16	6	20	-170
		117,975-137 MHz	En tierra	20	-93	20	16	6	20	-181
	8,33 kHz	117,975-137 MHz	En aeronaves	75	-82	20	5,6	6	20	-165
		117,975-137 MHz	En tierra	20	-93	20	5,6	6	20	-177
	VDL, Modos 2 y 3	117,975-137 MHz	En aeronaves	75	-82	20	8	6	20	-167
		117,975-137 MHz	En tierra	20	-93	20	16	6	20	-181
	VDL, Modo 4	108-137 MHz	En aeronaves	75	-81	20	5,56	6	20	-165
		108-137 MHz	En tierra	20	-93	20	6	6	20	-177

NOTA 1 – Los valores indicados en este Cuadro corresponden a la relación señal deseada/señal interferente (D/U) dentro del sistema o, en el caso del radar, a la relación interferencia/ ruido (I/N) del sistema. Todo ellos expresan valores iniciales.

En el Anexo A2.2 se presenta un estudio relativo a la compatibilidad entre los sistemas PLT y los servicios de radionavegación aeronáutica y móvil aeronáutica en la gama de frecuencias comprendida entre 30 y 380 MHz.

CUADRO 9

Máximo valor tolerable inicial de la interferencia en sistemas de los servicios de radiodeterminación en aeronaves
Nivel de señal que debe protegerse en la antena receptora

Sistema	Banda de frecuencias	Ubicación del receptor	Nivel mínimo de la señal deseada		D/U necesaria (Nota 1)	Anchura de banda del receptor	Margen de seguridad aérea	Límite impuesto por la utilización de numerosas tecnologías	Máximo valor tolerable inicial de la interferencia
			($\mu\text{V/m}$)	(dBm)	(dB)	(kHz)	(dB)	(dB)	(dBm/Hz)
Localizador del sistema de aterrizaje instrumental (ILS)	108-112 MHz	En aeronaves	40	-86	20	30	6	20	-177
Senda de planeo del sistema de aterrizaje instrumental (ILS)	328,6-335,4 MHz	En aeronaves	400	-76	20	42	6	20	-168
GBAS	108-117,975 MHz	En aeronaves	215	-72	26	14	6	20	-165
VOR	108-117,975 MHz	En aeronaves	90	-79	20	36	6	20	-171
Radionavegación aeronáutica	200-225 MHz								
Radiolocalización	216-220 MHz								
Radionavegación aeronáutica	420-460 MHz								
Radiolocalización	430-450 MHz								

NOTA 1 – Los valores indicados en este Cuadro corresponden a la relación señal deseada/señal interferente (D/U) dentro del sistema o, en el caso del radar, a la relación interferencia/ ruido (I/N) del sistema. Todo ellos expresan valores iniciales.

3.3 Servicio móvil aeronáutico

Debido a la visibilidad directa del trayecto radioeléctrico, los servicios móviles aeronáuticos son particularmente sensibles a la interferencia combinada procedente de fuertes densidades de fuentes de radiación en frecuencias radioeléctricas situadas en tierra. Este problema se acentúa cuando esas fuentes se sitúan por debajo de trayectos de acceso y de salida de los aeropuertos.

3.4 Servicio móvil marítimo

Receptores marítimos de ondas métricas – 154-174 MHz

La Recomendación UIT-R M.489-2 estipula que:

- la sensibilidad de referencia debe ser igual o menor que una f.e.m. de 2,0 μV para una determinada relación S/N de referencia a la salida del receptor;
- la selectividad de canal adyacente debe ser de 70 dB, por lo menos;
- la atenuación de la respuesta parásita debe ser de 70 dB, por lo menos;
- la atenuación de la intermodulación en radiofrecuencia debe ser de 65 dB por lo menos;
- la potencia de toda emisión espuria conducida, medida en los terminales de la antena, no debe superar los 2,0 nW en ninguna frecuencia discreta. En algunos medios radioeléctricos pueden requerirse valores más bajos.

Receptores de identificación automática de barco (AIS)

Los receptores AIS utilizan dos frecuencias, 161,975 y 162,025 MHz, para dar respuesta a numerosos objetivos relativos a la seguridad y protección en el mar, en particular la gestión del movimiento de buques en rutas de navegación congestionadas, la previsión de colisiones, la mejora de la respuesta de actividades de búsqueda y salvamento (SAR) en situaciones de socorro, la protección contra la contaminación por hidrocarburos y el mantenimiento de un entorno seguro para embarcaciones y puertos.

- nivel mínimo especificado de la sensibilidad de receptores AIS (para una tasa de error admisible de 20%) = -107 dBm;
- por lo general, las estaciones de base AIS tienen una sensibilidad de recepción de -115 dBm, como mínimo.

3.5 Servicio de radiodeterminación

Debido a la visibilidad directa del trayecto radioeléctrico, los servicios de radiodeterminación en aeronaves son particularmente sensibles a la interferencia combinada proveniente de fuertes densidades de fuentes de radiación radioeléctrica situadas en tierra. Este problema se acentúa cuando esas fuentes se sitúan por debajo de los trayectos de acceso/salida de un aeropuerto.

3.6 Servicio móvil terrestre

No hay criterios de protección de aplicación general aplicables al caso de la interferencia causada al servicio móvil terrestre por fuentes de radiación involuntarias, como los sistemas PLT. Se necesitará definir una base de trabajo para la elaboración de los criterios de protección que deben cumplir ese tipo de sistemas.

En cualquier caso, los criterios de protección aplicables a la radiación emitida por sistemas PLT no deben ser menos estrictos que los establecidos con respecto a los estudios de compartición entre el servicio móvil terrestre y otros servicios de radiocomunicaciones primarios y secundarios. En las Recomendaciones UIT-R indicadas a continuación figuran algunos ejemplos de criterios de

protección definidos para el servicio móvil terrestre en la gama de frecuencias comprendida entre 80 y 470 MHz:

- Recomendación UIT-R M.1808 – Características técnicas y de explotación de los sistemas móviles terrestre convencionales y de recursos compartidos que funcionan en atribuciones del servicio móvil por debajo de 869 MHz que deben utilizarse en los estudios de compartición. En esta Recomendación se examinan la interferencia y los criterios de calidad de funcionamiento (§ 2.1 y 2.2 del Anexo 1), así como un conjunto completo de características técnicas para las bandas 138-174 MHz y 406,1-470 MHz.
- Recomendación UIT-R M.1824 – Características del sistema de radiodifusión de televisión en exteriores, periodismo electrónico y producción en directo electrónica en el servicio fijo para su utilización en estudios de compartición. Esta Recomendación facilita las características de sistemas de radiodifusión televisual en exteriores (TVOB), de periodismo electrónico (ENG) y de producción electrónica en directo (EFP) del servicio móvil. En particular, los Cuadros 2 y 3 contienen los parámetros técnicos de sistemas de transmisión simultánea de instrucciones (talkback) y de radioteléfono (walkie-talkie) y de sistemas de enlaces audio, respectivamente, algunos de los cuales funcionan en la gama de frecuencias comprendida entre 80 y 470 MHz.

Por otra parte, la Resolución 646 (CMR-03) identifica las partes de la banda 380-470 MHz que pueden ser utilizadas para la protección pública y las operaciones de socorro.

Entre los sistemas de radiocomunicaciones que funcionan por encima de 470 MHz en el servicio móvil terrestre figuran los sistemas celulares y los sistemas IMT. En algunos países, también se implantan sistemas celulares por debajo de 470 MHz. Con respecto a los sistemas celulares, en la Recomendación UIT-R M.1823, «Características técnicas y operacionales de los sistemas móviles terrestres celulares digitales para los estudios de compartición», puede hallarse información sobre los criterios de protección.

3.7 Servicio de radioastronomía

El servicio de radioastronomía (SRA) tiene atribuidas frecuencias, a título primario, en tres bandas entre 80 y 470 MHz (ver Cuadro 10), frecuencias para las que se aplica el número 5.149 del RR. Las bandas de 150 y 410 MHz se utilizan únicamente para observaciones del continuum (modo de potencia total) y la banda de 327 MHz, para las observaciones del continuum y los modos de línea espectral. Los niveles umbral de la interferencia perjudicial al SRA están contemplados en la Recomendación UIT-R RA.769 y sus valores de campo eléctrico equivalentes, en el Informe UIT-R RA.2131. Estos valores umbral se incluyen también en el Cuadro 10.

CUADRO 10

Umbral de interferencia del campo eléctrico equivalentes para el servicio de radioastronomía

Banda SRA (MHz)	Umbral de la d _{fp} dB(W/m ²)	Umbral de la d _{fp} espectral dB(W/m ² /Hz)	Umbral del campo eléctrico dB(μV/m)
150,05-153	-194 en 2,95 MHz	-259	-48,2 en 2,95 MHz
322-328,6	-189 en 6,6 MHz para el modo continuum -204 en 10 kHz para el modo de línea espectral	-258 para el modo continuum -244 para el modo de línea espectral	-43,2 en 6,6 MHz para el modo continuum -58,2 en 10 kHz para el modo de línea espectral
406,1-410	-189 en 3,9 MHz	-255	-43,2 en 3,9 MHz

3.8 Servicio móvil por satélite

A continuación se enumeran las bandas de frecuencia inferiores a 470 MHz que están atribuidas al servicio móvil por satélite (SMS), así como el criterio de protección y los parámetros de sistema.

3.8.1 Bandas de frecuencias

Por debajo de 470 MHz, hay diversas bandas de frecuencia atribuidas al servicio móvil por satélite (SMS):

- la banda 137-138 MHz está atribuida al SMS en el sentido espacio-Tierra;
- la banda 148-150,05 MHz está atribuida al SMS en el sentido Tierra-espacio;
- las bandas 161,9625-161,9875 MHz y 162,0125-162,0375 MHz están atribuidas al SMS en el sentido Tierra-espacio (ver número 5.227A del RR);
- la banda 235-322 MHz está atribuida al SMS (ver número 5.254 del RR);
- la banda 312-315 MHz está atribuida al SMS en el sentido Tierra-espacio;
- la banda 335,4-399,9 MHz está atribuida al SMS (ver número 5.254 del RR);
- la banda 387-390 MHz está atribuida al SMS en el sentido espacio-Tierra;
- la banda 399,9-400,05 MHz está atribuida al SMS en el sentido Tierra-espacio;
- la banda 400,15-401 MHz está atribuida al SMS en el sentido espacio-Tierra;
- la banda 406-406,1 MHz está atribuida al SMS en el sentido Tierra-espacio, cuyo uso está limitado a las radiobalizas de localización de siniestros por satélite de baja potencia (ver número 5.266 del RR). Se prohíbe cualquier emisión que pueda causar interferencia perjudicial a las utilizaciones autorizadas de la banda 406-406,1 MHz (ver número 5.267 del RR).

3.8.2 Criterio de protección

Aplicando una práctica adecuada de ingeniería del espectro, se logrará que la radiación emitida por los dispositivos PLT alcance los niveles mínimos técnicamente posibles. Dicho esto, para la radiación emitida por esos dispositivos, se aplica un criterio $\Delta T/T$ de 1% para determinar el nivel de interferencia tolerable causada a receptores del SMS (en vehículos espaciales, en aeronaves o en tierra). Se considera que este criterio es adecuado por analogía con el servicio fijo por satélite (SFS) puesto que la Recomendación UIT-R S.1432-1 propone ese valor a las fuentes de interferencia distintas a las del SFS o de servicios a título primario con igualdad de derechos.

3.8.3 Parámetros de sistema

Los parámetros detallados de los sistemas del SMS que funcionan en las bandas 137-138 MHz, 148-150,05 MHz, 399,9-400,05 MHz y 400,15-401 MHz figuran en el Anexo 2 a la Recomendación UIT-R M.1184-2, «Características técnicas de los sistemas móviles por satélite en las bandas de frecuencias inferiores a 3 GHz para su utilización en el desarrollo de criterios para la compartición para el servicio móvil por satélite (SMS) y otros servicios». Para facilitar su lectura, los parámetros de sistema pertinentes necesarios para garantizar la protección de receptores del SMS contra la radiación emitida por los sistemas PLT se resumen en los Cuadros 11 y 12.

CUADRO 11

Características de los receptores de estaciones terrenas móviles en la banda 137-138 MHz

Ganancia de la antena de la estación terrena móvil receptora (dBi)	5,7	0,5	-3	3
Diagrama de la antena de la estación terrena móvil receptora	Omnidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional
Temperatura de ruido de la estación terrena móvil receptora (K)	4 467	813	66	1 565
Implantación de la estación terrena móvil receptora	En todo el mundo	En todo el mundo	En todo el mundo	En todo el mundo
Polarización de la estación terrena móvil receptora	RHCP	RHCP	LHCP	RHCP

CUADRO 12

Características de los receptores de satélite del SMS en la banda 148-150,05 MHz

Altitud del satélite receptor (km)	950	775	800	893	1 000
Ganancia de la antena del satélite receptor (dBi)	-2	0	0	5,6	6
Diagrama de la antena del satélite receptor	Isoflux	Toroidal	10 log (cos 2 θ)	10 log (cos 2 θ)	Isoflux
Temperatura de ruido del satélite receptor (K)	309	400	1 000	1 480	940
Polarización del receptor	Lineal	Lineal	RHCP	LHCP	Lineal

Con respecto a las atribuciones al servicio móvil por satélite por encima de 200 MHz, en particular, conviene controlar cuidadosamente los efectos específicos de acumulación de radiaciones causadas por los sistemas PLT en la banda 406-406,1 MHz. Se trata de frecuencias utilizadas por satélites de búsqueda y salvamento, a las que se aplican las disposiciones de los números 5.266 y 5.267 del Reglamento de Radiocomunicaciones.

CUADRO 13

Características de los receptores de satélite del SMS en la banda 399,9-400,05 MHz

Altitud del satélite receptor	667 km
Ganancia de la antena del satélite receptor	7 dBi
Diagrama de la antena del satélite receptor	Cardioide
Temperatura de ruido del satélite receptor	389 K
Polarización del receptor	RHCP

CUADRO 14

**Características de los receptores de estaciones terrenas
móviles en la banda 400,15-401 MHz**

Ganancia de la antena de la estación terrena móvil receptora (dBi)	5,7	3	3	7
Diagrama de la antena de la estación terrena móvil receptora	Omnidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional	Omnidireccional
Temperatura de ruido de la estación terrena móvil receptora (K)	4 467	229	505	550
Implantación de la estación terrena móvil receptora	En todo el mundo	En todo el mundo	En todo el mundo	En todo el mundo
Polarización de la estación terrena móvil receptora	RHCP	RHCP	RHCP	LHCP

Con respecto a las atribuciones al SMS en la banda 454-456 MHz, las siguientes características, extraídas de la base de datos de la UIT, corresponden a sistemas que funcionan actualmente en esa banda:

- altitud del satélite receptor: 650 km;
- ganancia de la antena del satélite receptor: 0 dBi;
- diagrama de la antena del satélite receptor: omnidireccional;
- temperatura de ruido del satélite receptor: 590 K;
- polarización del satélite receptor: LHCP.

No se dispone de ninguna información concreta sobre la banda 459-460 MHz pero, al parecer, se aplican también a ella las características de la banda 454-456 MHz.

3.8.4 Caso particular de la banda 406-406,1 MHz

El uso de esta banda atribuida al SMS en el sentido Tierra-espacio está limitado a las radiobalizas de localización de siniestros por satélite de baja potencia (ver número 5.266 del RR). Se prohíbe cualquier emisión que pueda causar interferencia perjudicial a las utilizaciones autorizadas de la banda 406-406,1 MHz (ver número 5.267 del RR). Esta banda es utilizada en especial por el sistema mundial de búsqueda y salvamento por satélite Cospas-Sarsat. Toda información sobre los sistemas de satélite que utilizan esta banda puede consultarse en la Recomendación UIT-R M.1478, «Criterios de protección de los instrumentos Cospas-Sarsat de búsqueda y salvamento en la banda 406-406,1 MHz». Se hace hincapié en la necesidad de garantizar a estos sistemas, que ofrecen servicios de seguridad, un entorno libre de interferencias.

3.9 Servicio de radionavegación por satélite

A continuación se enumeran las bandas de frecuencia inferiores a 470 MHz que están atribuidas al servicio de radionavegación por satélite (SRNS), así como el criterio de protección y los parámetros de sistema.

3.9.1 Bandas de frecuencias

Por debajo de 470 MHz, hay dos bandas de frecuencia atribuidas al servicio de radionavegación por satélite (SRNS):

- la banda 149,9-150,05 MHz está atribuida al SRNS;
- la banda 399,9-400,05 MHz está atribuida al SRNS.

3.9.2 Criterio de protección

Aplicando una práctica adecuada de ingeniería del espectro, se logrará que la radiación emitida por los dispositivos PLT alcance los niveles mínimos técnicamente posibles. Dicho esto, para la radiación emitida por esos dispositivos, se aplica un criterio $\Delta T/T$ de 1% para determinar el nivel de interferencia tolerable causada a receptores del SRNS (en vehículos espaciales, en aeronaves o en tierra). Se considera que este criterio es adecuado por analogía con el servicio fijo por satélite (SFS) puesto que la Recomendación UIT-R S.1432-1 propone ese valor a las fuentes de interferencia distintas a las del SFS o de servicios a título primario con igualdad de derechos.

3.9.3 Parámetros del sistema

Con respecto a las atribuciones al SRNS en la banda 149,9-150,05 MHz, las siguientes características se extraen de la base de datos de la UIT y corresponden a los sistemas que funcionan actualmente en esa banda:

- ganancia de la antena de la estación terrena receptora del SRNS: 0 dBi;
- diagrama de la antena de la estación terrena receptora del SRNS: omnidireccional;
- temperatura de ruido de la estación terrena receptora del SRNS: 200 K;
- implantación de la estación terrena receptora del SRNS: en todo el mundo.

Con respecto a las atribuciones al SRNS en la banda 399,9-400,05 MHz, las siguientes características, extraídas de la base de datos de la UIT, corresponden a sistemas que funcionan actualmente en esa banda:

- ganancia de la antena de la estación terrena receptora del SRNS: 0 dBi;
- diagrama de la antena de la estación terrena receptora del SRNS: omnidireccional;
- temperatura de ruido de la estación terrena receptora del SRNS: 200 K;
- implantación de la estación terrena receptora del SRNS: en todo el mundo.

3.10 Otros sistemas/aplicaciones de radiocomunicaciones

En esta sección se examinan sistemas y aplicaciones de radiocomunicaciones que no pueden atribuirse directamente a un determinado servicio de radiocomunicaciones. Además de la subsección relativa a sistemas de comunicaciones de implantes médicos inalámbricos, otros sistemas y aplicaciones podrían añadirse en una futura revisión del presente Informe.

3.10.1 Sistemas de comunicaciones de implantes médicos inalámbricos

Los sistemas de comunicaciones de implantes médicos inalámbricos funcionan en la banda 401-406 MHz y son utilizados para aplicaciones de seguimiento y programación de implantes médicos como marcapasos, neuroestimuladores y otros dispositivos similares. Dado el progresivo envejecimiento de la población, los servicios de atención de la salud son cada vez más complejos y costosos. Por este motivo, habrá que recurrir con frecuencia a sistemas de control electrónico.

Como la banda utilizada para los implantes médicos activos de potencia extremadamente baja (ULP-AMI) es compartida con un servicio de radiocomunicaciones primario, se utiliza un mecanismo integral de acceso al canal. Para el control en el hogar, se utiliza un monitor

(ULP-AMI-P) con un umbral de detección de tipo LBT («escuchar antes de hablar») igual a una intensidad de campo de +16 dB(μ V/m) para una ganancia típica de antena de 0 dBi. Esos monitores son eléctricos y por lo general están situados muy cerca de otros dispositivos también eléctricos como, por ejemplo, relojes, lámparas, mantas eléctricas, etc. Naturalmente, esos cables de alimentación eléctrica son una fuente de radiación de la señal PLT. Para que los sistemas de implantes funcionen, el nivel de ruido de los futuros sistemas PLT que utilicen frecuencias de hasta 470 MHz y más elevadas no debe ser superior, en la banda 401-406 MHz, a +16 dB(μ V/m) en una anchura de banda de 300 kHz, o a +12 dB(μ V/m) en una anchura de banda de 120 kHz.

4 Posibles medios de evitar o eliminar interferencias

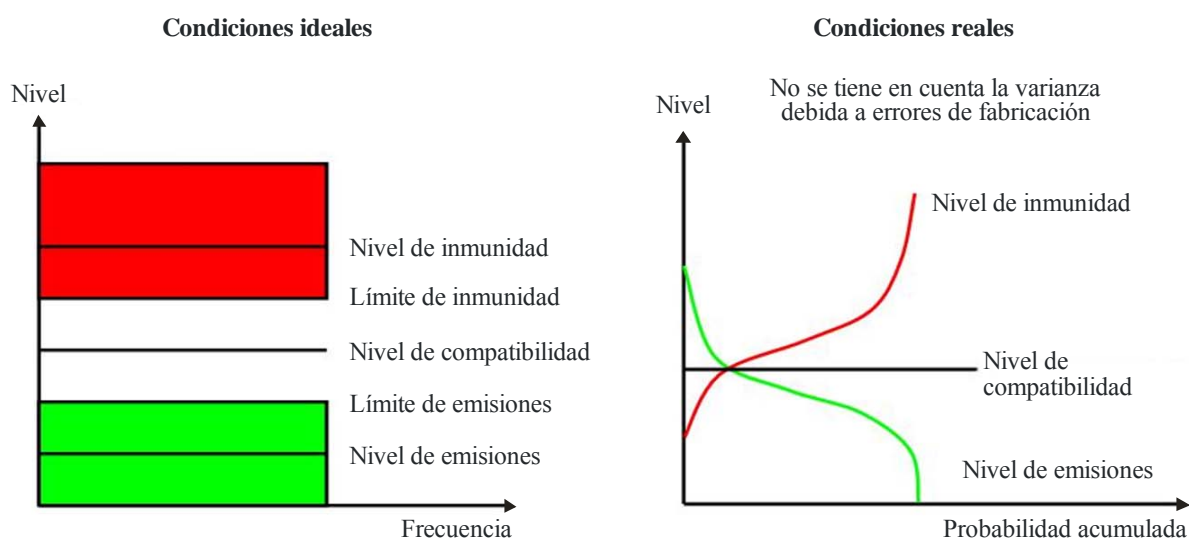
4.1 Medidas EMC adaptables

El principio clásico de EMC (compatibilidad electromagnética) se basa en las radiaciones constantes y tiene en cuenta los límites de inmunidad contra las señales de alta frecuencia. La gama de funcionamiento está definida por el límite de radiación de todos los dispositivos y por su propio umbral de inmunidad. Los dispositivos comprendidos en esa gama no causan interferencia en su entorno. El inconveniente de esta concepción clásica de garantizar la compatibilidad electromagnética, como se indica en la Fig. 3 (a la izquierda), es que no se utilizan ciertos recursos. Además, se deben proteger a veces, y a gran costo, dispositivos que quizá no estén expuestos a señales perturbadoras. Todas las frecuencias están protegidas independientemente del lugar y el momento en que el dispositivo esté en funcionamiento. En otras palabras, se corre el riesgo de que los recursos no sean utilizados de manera ineficaz.

En algunos casos se observan perturbaciones en la recepción de una señal de baja potencia aunque el funcionamiento de los dispositivos circundantes cumpla las normas EMC correspondientes. Lamentablemente, es esa la condición real indicada en la Fig. 3 (a la derecha), que no es satisfactoria ni desde el punto de vista económico ni desde el punto de vista técnico. En este caso, convendría haber elegido límites más estrictos.

FIGURA 3

Aspectos relativos a la compatibilidad electromagnética: condiciones ideales y reales



Por lo general, los sistemas radioeléctricos (por ejemplo, sistemas móviles terrestres, TV, radiocomunicaciones analógicas o digitales) son los dispositivos más sensibles en el hogar y los lugares de trabajo porque reciben una amplia gama de amplitudes de señales. Por lo tanto, la EMC consiste esencialmente en proteger las señales radioeléctricas de alta frecuencia y, durante decenios, en definir simplemente los límites de la radiación electromagnética producida por los equipos. En el pasado, este método simple era adecuado. Las fuentes clásicas de perturbaciones, como conmutadores o fuentes de alimentación conmutadas, generan ocasionalmente radiaciones en una amplia banda de frecuencias. Como no era posible suprimir esas perturbaciones de manera selectiva y flexible, se optaba por limitar la radiación máxima a un valor de unos pocos dB por debajo del límite. Pero esos límites son cada vez más discutidos por los diseñadores y usuarios de sistemas radioeléctricos puesto que fueron concebidos para ciertas condiciones de probabilidad espacial, temporal o en materia de frecuencia de las fuentes de interferencia. Actualmente, un gran número de sistemas modernos, fuente de interferencia, producen emisiones continuas en una amplia banda de frecuencias que carece de una atribución en el Reglamento de Radiocomunicaciones, de modo que los requisitos previos originales ya no son necesariamente válidos.

En la actualidad se pueden integrar medidas EMC adaptables en los sistemas modernos de comunicación por cable con tecnología OFDM (por ejemplo, ADSL, VDSL, PLT) y controlar, con suma facilidad, sus emisiones de radiación no deseadas. Las tecnologías de radiocomunicaciones inteligentes también pueden adaptar sus emisiones espectrales al entorno en que se encuentran en un momento determinado.

Por ejemplo, los módems de comunicaciones por líneas de alimentación eléctrica definidos en la norma ETSI TS 102578 utilizan esa opción de tipo adaptable. En comparación con los módems PLT convencionales, que podrían interferir con los servicios de radiocomunicaciones, los módems que aplican el método de «ranurado inteligente» (*smart notching*) no causan perturbaciones en los receptores radioeléctricos.

Las frecuencias de emisión de los módems PLT se traslapan con las frecuencias de radiodifusión. Los cables eléctricos de los hogares no están protegidos y su estructura presenta un cierto grado de asimetría. Si un receptor radioeléctrico funciona cerca del cable de un sistema PLT activo, su calidad de recepción puede degradarse. Cuando los sistemas de comunicación funcionan en la misma gama de frecuencias y en trayectos de acoplamiento intermedios, por conducción o radiación, la presencia de perturbaciones es inevitable.

Debido a que la red de distribución de baja tensión se comporta como una antena, los cables eléctricos instalados en los edificios captan señales emitidas por los servicios de radiodifusión. Los módems PLT con «ranurado inteligente» (como se indica en la norma ETSI TS 102578) detectan la presencia de esos servicios midiendo el espectro de la señal transmitida por la red eléctrica. Tras el análisis del espectro, los módems PLT excluyen las frecuencias que podrían captar dispositivos radioeléctricos de onda corta. Este proceso se llama «ranurado». Como la transmisión se lleva a cabo según una modulación OFDM adaptable y con un gran número de portadoras, el «ranurado inteligente» sólo causa una ligera disminución de la velocidad binaria puesto que sólo suprime las portadoras que tienen una relación S/N baja. Con un análisis continuo, el sistema puede reducir al mínimo la interferencia y optimizar el caudal en función de las condiciones en tiempo real.

Esos sistemas adaptables no establecen la compatibilidad electromagnética de la misma manera que los sistemas tradicionales: en lugar de restricciones rígidas, los dispositivos con «ranurado inteligente» pueden cumplir y mejorar dicha compatibilidad. Según la definición del Vocabulario Electrotécnico Internacional (IEV), un producto es compatible electromagnéticamente si funciona en su entorno electromagnético de forma satisfactoria y sin introducir perturbaciones electromagnéticas intolerables a todo lo que se encuentre en ese entorno.

4.2 Ranurado permanente

Por regla general, se acepta que los sistemas que utilizan las bandas atribuidas al servicio de aficionados apliquen el método de ranurado permanente.

Dada la gran importancia que adquiere la banda con modulación de frecuencia (FM) para los oyentes puesto que constituye el medio principal de radiodifusión sonora, hay que evitar las perturbaciones que podrían causar sistemas PLT no controlados. No hay duda pues que la mejor opción sería que la gama de frecuencias de los sistemas PLT y de otros sistemas no exceda de 80 MHz, como ha recomendado la CE 15 del UIT-T. De no ser así, habría que adoptar un ranurado permanente en toda la banda 87,5-108 MHz.

Con respecto a la radiodifusión sonora digital (DAB), cuyas intensidades de campo son en general inferiores a las de la recepción en FM, se teme que siga siendo difícil detectar, de forma fiable, señales DAB perturbadas por los cables eléctricos y proteger los servicios correspondientes. Para las bandas DAB, se recomienda el ranurado permanente.

4.3 Ranurado dinámico

Se ha propuesto la norma ETSI TS 102578 de ranurado dinámico (aplicable a la radiodifusión en ondas decamétricas) como modelo para proteger las frecuencias superiores a 30 MHz, mediante algunos cambios y/o ampliaciones. Sin embargo, esa norma se ha elaborado en estrecha cooperación con los organismos de radiodifusión y bajo su control, y sólo fue aceptada como compromiso para resolver los problemas concretos que plantea la coexistencia de sistemas de radiodifusión y de equipos PLT en ondas decamétricas. Hay que tener en cuenta también que sólo pudo aceptarse ese compromiso tras la demostración de que la técnica podía aplicarse, aunque de forma bastante limitada puesto que las pruebas se realizaron con un sólo sistema prototipo.

No está nada claro que se pueda, de forma simple, aplicar esta técnica a la radiodifusión en bandas de ondas métricas debido a sus numerosas diferencias:

- la banda FM, utilizada para ofrecer servicios a los particulares, es un medio de radiodifusión muy difundido: la mayoría de oyentes escuchan la radio en esta banda en sus hogares durante períodos prolongados;
- teniendo en cuenta esas características, los oyentes son muy exigentes (la radiodifusión con modulación de frecuencia ofrece de inmediato una calidad de recepción notablemente superior a la de la radiodifusión con modulación de amplitud (AM) en onda corta, similar a la calidad CD en un entorno doméstico normal) y, por consiguiente, no tolerarán muy bien la pérdida de calidad;
- técnicamente, la modulación de frecuencia es muy diferente a la modulación de amplitud;
- la longitud de onda de las señales en banda FM es similar o inferior a las longitudes típicas de los cables eléctricos (contrariamente a las señales en ondas decamétricas) y, por tanto, la interferencia causada por los sistemas PLT en el entorno es más importante.

No queda nada claro que un método de ranurado dinámico pueda necesariamente funcionar, aunque sea para detectar en forma adecuada y fiable la presencia de señales de radiodifusión que deben ser protegidas por este método. No hay que olvidar que en un entorno urbano se pueden captar a menudo unas 30 transmisiones en FM, aunque en la práctica, con una anchura de ranura de 800 kHz como mínimo, este método supondría introducir ranuras en toda la banda.

Es discutible por tanto que valga la pena afrontar los problemas que plantea, teniendo en cuenta las probables ventajas que pueden obtenerse en materia de capacidad PLT. En muchos países europeos (de hecho, en la mayoría), la banda FM es utilizada en forma intensiva y los organismos reguladores deben atender la demanda constante de atribución de nuevas frecuencias y nuevos servicios FM. Las estaciones FM ya utilizan frecuencias lo más posiblemente cercanas entre sí y están

planificadas no sólo para evitar la interferencia en el mismo canal sino también para tener en cuenta la utilización de canales adyacentes en un intervalo de ± 400 kHz.

La anchura de la ranura plantea una dificultad particular. Según ciertas estimaciones, una ranura de 200 kHz sería suficiente. Pero, al parecer, el método utilizado para calcular ese valor, es decir la aplicación de la regla de Carson a la FM en monofonía, no es correcto. Sirve más bien como indicación del intervalo en el que se sitúa la mayor parte de la energía transmitida (en monofonía) y, por lo tanto, la anchura de banda mínima que debe tener un receptor para transmitir la mayor parte de la señal y para que la distorsión debida al truncamiento del espectro se mantenga dentro de límites razonables. Pero de esta forma no se tiene en cuenta que casi todos los programas en FM son estereofónicos, con señalización RDS adicional, y que las frecuencias en banda de base exceden holgadamente los 15 kHz; en realidad, se acercan a 60 kHz. Es esencial que la ranura de los sistemas PLT no se limite a la anchura real del canal FM analógico o digital e incluya los canales adyacentes.

Más importante aún, el método utilizado no tiene en cuenta que el factor principal es la sensibilidad de los receptores a la interferencia, lo cual depende en gran medida de los detalles de diseño de cada receptor. En otras palabras, hay que tener en cuenta las diferentes características de concepción de los millones de receptores puestos ya en servicio en los hogares. Únicamente poniendo a prueba una amplia selección de receptores (de hecho, un tipo de medición de las relaciones de protección, con diversas separaciones de frecuencia) se podrán definir las características de la ranura que debe utilizarse, tanto su anchura a la máxima profundidad de modulación como la forma igualmente importante de sus bordes. Cabe observar que la norma TS 102578, aplicable a los receptores de ondas decamétricas, tuvo en cuenta esas dos características. Habría que ampliar la ranura en 400 kHz en un borde de la portadora de una estación FM detectada hasta un conjunto de subportadoras PLT contiguas (sin ranuras) y ampliarla también en 400 Hz en el otro borde de esa misma portadora FM hasta el conjunto de subportadoras PLT contiguas siguiente. De esta forma, las ranuras de las subportadoras PLT a la máxima profundidad de modulación deberían tener una anchura de 800 kHz, es decir, ± 400 kHz a uno y otro lado de cada portadora FM detectada, con bordes inclinados adicionales. En numerosas zonas urbanas, esto supondría seguramente la introducción de ranuras en toda la banda.

Si se aplica el ranurado dinámico para proteger otros servicios de radiocomunicaciones distintos del de radiodifusión, hay que entender que esta técnica sólo puede ser eficaz si la detección se lleva a cabo en el mismo lugar en que la interferencia puede ser perjudicial. Cuando se prevé que la recepción sólo tendrá lugar en la parte exterior de los edificios, de nada servirá detectar las señales recibidas en el interior de los mismos puesto que los resultados obtenidos no serán representativos de la interferencia combinada que podría afectar el entorno real de funcionamiento del sistema. Por otra parte, si las señales destinadas a la recepción en la parte exterior también pueden ser captadas en el interior de un edificio, los cables eléctricos se comportan como una antena eficaz y, en consecuencia, pueden contribuir al aumento de los niveles de interferencia en el exterior.

4.4 Ranurado en función de la localización geográfica

Para aplicar esta técnica se necesitará una base de datos de los servicios cuya recepción la administración nacional desea proteger en un determinado lugar. Una opción simple consistiría en utilizar las zonas de concesión de los organismos de radiodifusión comerciales o las zonas de servicio previstas en otros casos. Sin embargo, como la cobertura real trasciende por regla general la zona -teórica- de concesión o de servicio, la administración nacional correspondiente afronta el dilema de restringir las opciones del oyente a favor de la utilización de las PLT. Esta solución puede dar lugar a problemas jurídicos con respecto a la legitimidad de restringir el acceso a servicios antes disponibles.

Asimismo, desde un punto de vista práctico, esta solución plantea otros problemas. Una entidad tendría que encargarse de la creación y el mantenimiento de la base de datos de localización geográfica, tareas que insumirán mucho tiempo y dinero, sin mencionar las dificultades jurídicas en caso de errores que afecten la cobertura y la rentabilidad comercial. ¿Quién se ocupará de la tarea y afrontará sus gastos? Además, la técnica podría dar lugar al rechazo de ciertas demandas de adjudicación de frecuencias destinadas a ampliar la oferta de servicios de radiodifusión. Por lo tanto, los proveedores de servicios PLT estarían obligados a efectuar los correspondientes pagos necesarios para reservar frecuencias del espectro.

Con respecto a la banda FM, también se aplican los comentarios antes formulados sobre la anchura de la ranura y la cantidad de espectro que podría ser reatribuido a los sistemas PLT.

4.5 Control de la potencia de transmisión según la Recomendación UIT-T G.9960

Las Recomendaciones UIT-T G.9960/G.9961 (conocida también como G.hn) {1, 2} relativas a redes domésticas definen varias herramientas para controlar la potencia PLT transmitida por un dispositivo G.hn (nodo) en la red (dominio). Estas herramientas permiten que un nodo cumpla diversas reglamentaciones (CISPR, CENELEC y otras), así como algunos requisitos en materia de consumo de energía (por ejemplo, el Código de Conducta de la Unión Europea). En esta sección se describe el procedimiento que debe aplicarse para crear la máscara de densidad espectral de potencia (*PSD, power spectral density*) de transmisión en todos los nodos de un dominio. También se ilustra el mecanismo para controlar de forma independiente la potencia de transmisión de un determinado nodo.

Actualmente, el límite superior de frecuencia efectivo indicado en la Recomendación UIT-T G.9960 es de 80 MHz (en armonía con el establecido en el Informe UIT-R SM.2158). En principio, el conjunto de herramientas facilitado en la Recomendación UIT-T G.9960 también permitir evitar o eliminar la interferencia, si los sistemas PLT utilizan frecuencias superiores a 80 MHz.

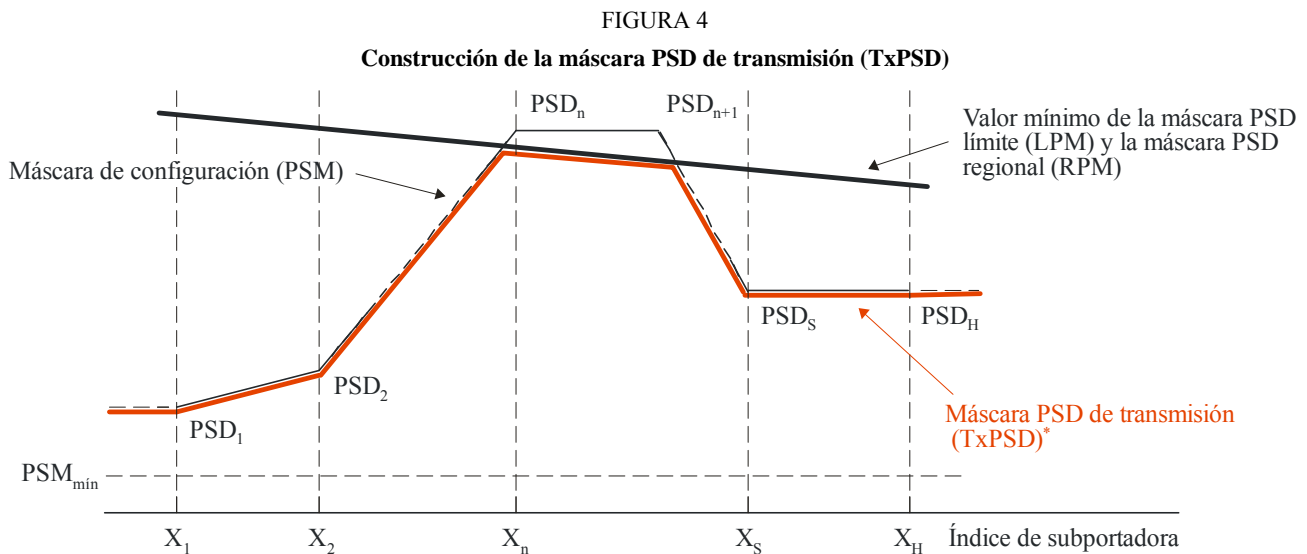
4.5.1 Construcción de la máscara PSD de transmisión

En un dominio G.hn, todos los nodos deben responder a la máscara PSD de transmisión (TxPSD) establecida por un nodo principal (de dominio). Un nodo no está autorizado a transmitir en cualquier momento señales por encima de esa máscara. En el § 7.1.5 {1} se describe la máscara TxPSD, definida por los siguientes componentes:

- 1) Máscara PSD límite (LPM, § 7.1.5 {1}): máscara PSD definida para cada plan de banda (por ejemplo, banda de base PLT de 100 MHz).
 - La LPM se define en el texto principal de la Recomendación (por ejemplo, ver Fig. 7-32 en § 7.2.2.3 {1} para la banda de base PLT de 100 MHz).
 - La LPM define el límite PSD absoluto que refleja el límite autorizado máximo (es decir, el límite máximo de todos los valores establecidos por reglamentaciones regionales).
 - La LPM da indicaciones para diseñar un dispositivo que pueda implantarse en todas las regiones.
- 2) Máscara PSD regional (RPM, § 7.1.5 {1}): máscara PSD definida para cada plan de banda y cada región.
 - La RPM puede ser definida en anexos separados con el fin de tener en cuenta reglamentaciones nacionales diferentes. Hasta ahora, no se ha definido ninguna RPM (se tuvo en cuenta la RPM de América del Norte, pero no se contempló en el proyecto final aprobado).
 - Si no se ha definido una RPM en una determinada región, se utiliza la LPM.

- 3) Máscara de subportadora (SM, § 7.1.5.1 {1}): bandas con máscara definidas para una determinada LPM o RPM.
 - La SM indica el ranurado de frecuencias. El nodo principal de dominio puede especificar hasta 32 bandas con máscara (§ 8.8.5.5 {2}). Esta información se difunde a todos los nodos a través de un mensaje MAP (mensaje periódico transmitido por el nodo principal de dominio para indicar el plan de acceso a los medios) y puede modificarse en forma dinámica.
- 4) Máscara de configuración PSD (PSM, § 7.1.5.2 {1}): puntos críticos de la PSD definidos para una determinada LPM o RPM.
 - El nodo principal de dominio puede especificar hasta 32 puntos críticos de la PSD (§ 8.8.5.5 {2}). Esta información se difunde a todos los nodos a través de un mensaje MAP y puede modificarse en forma dinámica.
- 5) Bandas de radioaficionados internacionales (§ 7.1.5.3 {1}).
 - En el Anexo D {1} se especifican varias bandas de radioaficionados en la gama 0-100 MHz. El nodo principal de dominio puede introducir ranuras en una o más de esas bandas (§ 8.8.5.5 {2}). Esta información se difunde a todos los nodos a través de un mensaje MAP y puede modificarse en forma dinámica.

La máscara PSD de transmisión (TxPSD) está construida con estos cinco componentes, como se indica en el § 7.1.5.2 {1} y la Fig. 4.



* En esta Figura no se indica la máscara de subportadora (SM).

Report SM.2212-04

4.5.2 Notificación de la máscara PSD de transmisión

El nodo principal de dominio anuncia periódicamente la máscara TxPSD de forma que todos los nodos del dominio (incluidos los nuevos nodos que acaban de integrarse a él) la conozcan antes de comenzar a transmitir alguna señal en la línea. El nodo principal de dominio puede incluso modificar esa información de forma dinámica (§ 8.8.5 {2}). Esta característica se puede utilizar para aplicar la técnica de ranurado dinámico.

Un nuevo nodo detectará y decodificará el mensaje MAP transmitido por el nodo principal de dominio para obtener la máscara TxPSD aplicada al dominio actual. Mientras sea miembro del dominio, debe respetar esta máscara. Los nodos están autorizados a transmitir con una potencia inferior a la especificada por la máscara.

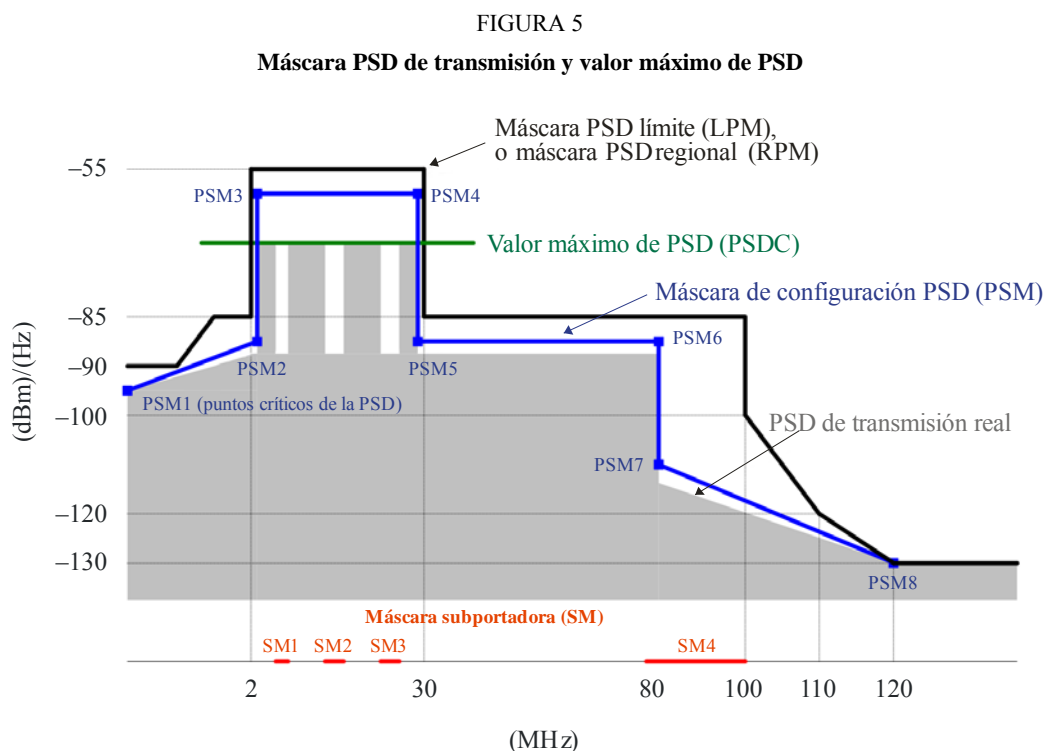
El nodo principal de dominio puede cambiar algunos de esos componentes sobre la marcha (SM, PSM, bandas HAM activadas/desactivadas). G.hn indica un medio de sincronizar todos los nodos del dominio con una nueva máscara TxPSD.

4.5.3 Valor máximo de PSD

El valor máximo de PSD (PSDC, § 7.1.5.4 {1}) indica el valor aplicado a las señales transmitidas entre los nodos. En tanto que la máscara TxPSD se aplica a todos los nodos de un dominio, el PSDC se aplica a un determinado nodo, teniendo en cuenta que puede variar según la conexión y en el tiempo para adaptarse a las modificaciones de canal. Este valor se transporta en la cabecera de la trama PHY (campo APSDC-M, § 7.1.2.3.2.2.11 {1}) para que el receptor tenga conocimiento del nivel de transmisión máximo de la señal recibida.

Durante el procedimiento de estimación de canal, el receptor notifica al emisor el valor PSDC óptimo (Cuadro 8-93 del § 8.11.7.3 {2}). Este mecanismo permite reducir la potencia transmitida y/o la potencia recibida, lo cual no sólo disminuye el consumo total de energía total de la red sino también las interferencias causadas a otras redes.

En la Fig. 5 se observa la relación entre la TxPSD y el PSDC.



Informe SM.2212-05

4.5.4 Referencias

- {1} Recomendación UIT-T G.9960 (2010): Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification, prepublicación (en inglés, únicamente).
- {2} Recomendación UIT-T G.9961 (2010): Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – Data link layer specification, prepublicación (en inglés, únicamente).

4.6 Conclusiones relativas a la prevención o eliminación de interferencias

Convendría hacer todo lo posible para demostrar la viabilidad y eficacia de las técnicas de reducción de la interferencia para determinados servicios en ciertas bandas. Si esas técnicas se aplican sin una evaluación correcta y sin las garantías necesarias, y si se comercializan equipos PLT insuficientemente especificados, las administraciones nacionales corren el riesgo de afrontar numerosas reacciones negativas y un gran número de reclamaciones.

5 Conclusiones generales

Este Informe ilustra la posibilidad de que la radiación procedente de sistemas y dispositivos PLT cause interferencia a diversos servicios de radiocomunicaciones. En el Informe se describen las características de la radiación de frecuencias radioeléctricas de los sistemas PLT, así como las características y los criterios de protección de los dispositivos de radiocomunicación afectados por esos sistemas. Por otra parte, se examinan posibles métodos de atenuación de la interferencia causada por la radiación de sistemas PLT.

Anexo 1

Consideraciones relativas a la radiación y propagación de ruido en bandas de ondas métricas y decimétricas

A1 Análisis detallado de la conversión de modo en la derivación de interruptor

La derivación de interruptor formada por una luz en el techo y un interruptor mural que se encuentra habitualmente en la instalación eléctrica de los hogares presenta un gran desequilibrio en la gama de frecuencias radioeléctricas, y convierte las señales de modo diferencial en corrientes de modo común o corrientes de antena que causan la radiación emitida por los cables eléctricos. Aunque la comunidad de radiocomunicaciones conoce muy bien esta situación, no parece que ocurra lo mismo con el sector de las PLT. En el § 2.1.4.3 del Informe UIT-R SM.2158 se muestra que, a partir de un análisis teórico (modelización de una antena corta en serie como desplazador de fase no equilibrado), el modo diferencial y el modo común están sólidamente acoplados a una amplia gama de frecuencias, y no sólo a una frecuencia de resonancia. Aunque el mecanismo físico esencial de la conversión de modo está adecuadamente representado por el modelo de desplazador de fase, convendría efectuar estudios más generales. Además, cuando el interruptor mural está apagado, la derivación constituye una antena abierta en serie que no puede ser modelada como desplazador de fase. En el análisis anterior, la derivación terminada en una bombilla de luz fría con resistencia muy baja, de apenas unos pocos ohmios, fue modelada como una antena corta en serie. Sería conveniente realizar un estudio general que examine al mismo tiempo antenas cortas en serie y antenas abiertas.

A continuación se presenta un análisis general de ese tipo basado en un estudio reciente⁴.

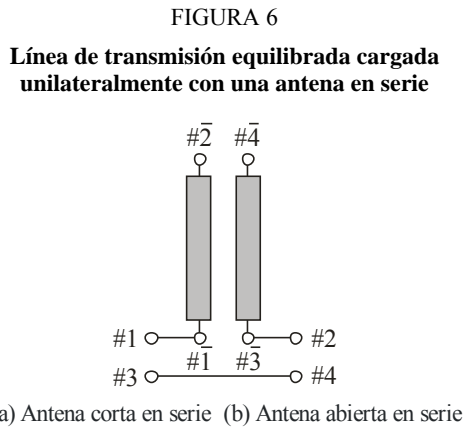
⁴ KITAGAWA, M. y OHIRA, T., Mixed-mode scattering matrix of a balanced transmission line unilaterally loaded with a stub in series – Pencil-and-paper formulation. IEICE Tech. Rep. MW., julio de 2010.

A1.1 Matriz de dispersión en modo mixto de una línea de transmisión equilibrada y cargada unilateralmente con una antena en serie

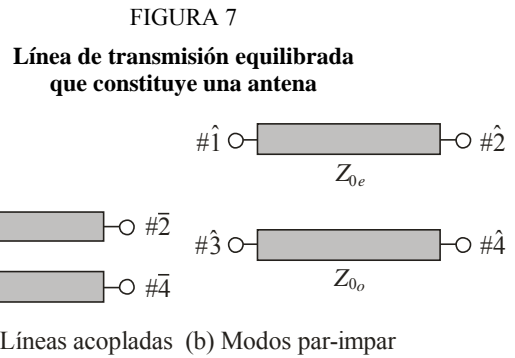
A1.1.1 Formulaciones teóricas

Se ha efectuado un análisis teórico de circuitos de antenas en serie unilaterales. Una antena abierta o una antena corta formada por una línea de transmisión equilibrada se inserta en serie en un extremo de otra línea de transmisión equilibrada (ver Fig. 6). Para mostrar las diferentes características de conversión de modo, se han calculado las matrices de dispersión en modo mixto para las dos configuraciones.

Los sistemas de telecomunicaciones por líneas de transporte y distribución de energía eléctrica (PLT) inyectan señales de radiofrecuencia (RF) en el modo impar de la red de alimentación situada en el edificio. Puesto que los circuitos de derivación que constituyen las luces de techo y los interruptores murales unipolares forman antenas en serie unilaterales, este análisis teórico permite prever los problemas de compatibilidad electromagnética que pueden causar los sistemas PLT que funcionan en las gamas de ondas decamétricas y/o métricas.



Informe SM.2212-06



Informe SM.2212-07

Se acoplan los dos conductores de una línea de transmisión equilibrada (Fig. 7 (a)), que forman una antena en la Fig. 6. Los modos par e impar están desacoplados y pueden tratarse de forma independiente, como se observa en la Fig. 7 (b). Estos dos modos tienen, respectivamente, las siguientes matrices de impedancia:

$$\hat{\mathbf{Z}}_e = \frac{Z_{0e}}{j \sin \phi_e} \begin{bmatrix} \cos \phi_e & 1 \\ 1 & \cos \phi_e \end{bmatrix}, \quad \hat{\mathbf{Z}}_o = \frac{Z_{0o}}{j \sin \phi_o} \begin{bmatrix} \cos \phi_o & 1 \\ 1 & \cos \phi_o \end{bmatrix}$$

donde Z_{0e} y Z_{0o} indican las impedancias características de los modos par e impar, y ϕ_e y ϕ_o , las rotaciones de fase de los modos par e impar a través de la antena, es decir $\phi_e = \beta_e l$ y $\phi_o = \beta_o l$ para una línea de transmisión sin pérdidas de longitud l . Para una línea de transmisión con pérdidas, esos valores son sustituidos por $\phi_e = \beta_e l(1 - j\alpha_e/\beta_e)$ y $\phi_o = \beta_o l(1 - j\alpha_o/\beta_o)$ para las constantes de propagación dadas $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$ y $\gamma_o = \alpha_o + j\beta_o$.

Las tensiones y corrientes de los terminales para cada modo en la Fig. 7 (b) están conectadas según se indica a continuación:

$$\begin{bmatrix} \hat{v}_1 \\ \hat{v}_2 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_e \begin{bmatrix} \hat{i}_1 \\ \hat{i}_2 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \hat{v}_3 \\ \hat{v}_4 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_o \begin{bmatrix} \hat{i}_3 \\ \hat{i}_4 \end{bmatrix}$$

La matriz de transformación entre un par de terminaciones físicas de entrada (o salida) (Fig. 7 (a)) y las terminaciones de modo correspondientes (Fig. 7 (b)) se expresa con la siguiente ecuación:

$$\mathbf{C}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

La matriz de transformación entre todas las terminaciones físicas y todas las terminaciones de modo se expresa mediante la ecuación:

$$\mathbf{C}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

La matriz de impedancia de las terminaciones de modo de la línea de transmisión de la Fig. 7 (b) se expresa mediante la ecuación:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{\text{TL}} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{Z}}_e & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{Z}}_o \end{bmatrix}$$

Por consiguiente, la matriz de impedancia de las terminaciones físicas de la línea de transmisión de la Fig. 7 (b) se calcula como se indica a continuación:

$$\mathbf{Z}_{\text{TL}} = \mathbf{C}_4 \hat{\mathbf{Z}}_{\text{TL}} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} \\ z_{12} & z_{11} & z_{14} & z_{13} \\ z_{13} & z_{14} & z_{11} & z_{12} \\ z_{14} & z_{13} & z_{12} & z_{11} \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} z_{11} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o) \\ z_{12} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \operatorname{cosec} \phi_e + Z_{0o} \operatorname{cosec} \phi_o) \\ z_{13} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o) \\ z_{14} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \operatorname{cosec} \phi_e - Z_{0o} \operatorname{cosec} \phi_o) \end{aligned}$$

En el caso de la antena corta de la Fig. 6 (a), las condiciones de terminación se expresan como sigue:

$$\bar{v}_4 = \bar{v}_2, \bar{i}_4 = -\bar{i}_2$$

En consecuencia, las tensiones y corrientes de entrada y salida mantienen la relación:

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} - \star & z_{13} + \star \\ z_{13} + \star & z_{11} - \star \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix}, \quad \star = -\frac{jZ_{0o}}{2 \cos \phi_o \sin \phi_o}$$

que puede ser expresada por la matriz de impedancia:

$$\mathbf{Z}_{ss} = -\frac{j}{2} \begin{bmatrix} Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \tan \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \tan \phi_o \\ Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \tan \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \tan \phi_o \end{bmatrix}.$$

En el caso de la antena abierta de la Fig. 6 (b), las condiciones de terminación se expresan como sigue:

$$\bar{i}_2 = \bar{i}_4 = 0$$

En consecuencia, las tensiones y corrientes de entrada y salida mantienen la relación:

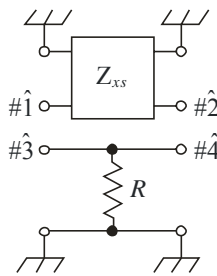
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{13} \\ z_{13} & z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix}$$

que puede ser expresada por la matriz de impedancia:

$$\mathbf{Z}_{os} = -\frac{j}{2} \begin{bmatrix} Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o \\ Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o \end{bmatrix}$$

FIGURA 8

Análisis con una resistencia virtual en paralelo y conectada a tierra



Informe SM.2212-08

Para analizar una línea de transmisión cargada unilateralmente con una antena en serie, como se observa en la Fig. 6, el otro conductor se conecta a tierra mediante una resistencia R (ver Fig. 8). De esta forma, la matriz de impedancia del conductor se expresa mediante la ecuación:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R & R \\ R & R \end{bmatrix}$$

y la matriz de impedancia de todo el circuito de la Fig. 8 mediante la ecuación:

$$\mathbf{Z}_{xs4} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{xs} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix}$$

donde el subíndice es $x=o$ para una antena abierta y $x=s$ para una antena corta. Tras la transformación, se obtiene la matriz de impedancia en modo mixto:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{xs} = \mathbf{C}_4 \mathbf{Z}_{xs4} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} \\ \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} \\ \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} \\ \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} \end{bmatrix}$$

La matriz de dispersión en modo mixto del circuito de antena en serie de la Fig. 6 se calcula teniendo en cuenta el límite:

$$\hat{\mathbf{S}} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} - \mathbf{1}_4}{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} + \mathbf{1}_4} = \begin{bmatrix} \hat{s}_{11} & \hat{s}_{12} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} \\ \hat{s}_{12} & \hat{s}_{11} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} \\ \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{33} & \hat{s}_{34} \\ \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{34} & \hat{s}_{33} \end{bmatrix}$$

donde:

$$\hat{\mathbf{W}}_0 = \begin{bmatrix} W_e & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_o \end{bmatrix}$$

W_e y W_o indican las impedancias de referencia del modo par y el modo impar respectivamente, y $\mathbf{1}_4$, la matriz de identidad de dimensión 4.

A1.1.2 Resultados

Los coeficientes de la matriz de dispersión en modo mixto de una línea de transmisión cargada unilateralmente con una antena corta en serie se expresan como se indica a continuación:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{11} &= \frac{(W_e^2 - W_o^2)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jW_o(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_e^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_eW_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{12} &= \frac{2W_e[2W_oZ_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_o^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_eW_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{13} &= \frac{2j\sqrt{W_eW_o}(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_eW_o \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_eW_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{14} &= \frac{2\sqrt{W_eW_o}[(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o - j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_eW_o \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_eW_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{33} &= \frac{-(W_e^2 - W_o^2)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jW_e(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_o^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_eW_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{34} &= \frac{2W_o[2W_eZ_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_e^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_eW_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \end{aligned}$$

donde:

- $S_{11} = S_{22}$ designa las reflexiones en modo par
- $S_{12} = S_{21}$ designa las transmisiones en modo par
- $S_{13} = S_{31} = S_{24} = S_{42}$ designa las conversiones en modo retroceso
- $S_{14} = S_{41} = S_{23} = S_{32}$ designa las conversiones en modo avance
- $S_{33} = S_{44}$ designa las reflexiones en modo impar
- $S_{34} = S_{43}$ designa las transmisiones en modo impar
- Z_{0e} y Z_{0o} designa las impedancias características de los modos par e impar
- ϕ_e y ϕ_o designa las rotaciones de fase de los modos par e impar
- W_e y W_o designa las impedancias de referencia de los modos par e impar, respectivamente. Son las expresiones más generales.

La matriz de dispersión en modo mixto de una antena abierta en serie se obtiene sustituyendo ϕ_o por $\phi_o + \pi/2$ en las expresiones indicadas *supra*, sin modificar ϕ_e . Para abreviar, no se indican pues las expresiones generales para una antena abierta en serie.

En la siguiente ecuación, las impedancias de referencia son iguales a las impedancias características, o sea $W_e = Z_{0e}$ y $W_o = Z_{0o}$, para evitar falsas reflexiones en las interfaces y los efectos parásitos por resonancia.

Por lo tanto, los coeficientes de la matriz de dispersión en modo mixto de una antena corta en serie se expresan como se indica a continuación:

$$\begin{aligned}\hat{s}_{11} &= \frac{(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2) \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jZ_{0e}(Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - Z_{0e} \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{12} &= \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e} \cos \phi_e \sin \phi_o + Z_{0o} \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{13} &= \frac{2j\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}Z_{0e} \sin(\phi_o - \phi_e)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{14} &= \frac{2\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}[(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e \sin \phi_o - jZ_{0e} \sin(\phi_e + \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{33} &= \frac{-(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2) \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jZ_{0e}(Z_{0e} \cos \phi_e \sin \phi_o - Z_{0o} \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{34} &= \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + Z_{0e} \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]}\end{aligned}$$

Las expresiones indicadas *supra* son suficientemente generales para aplicarlas cuando se utilizan los dos mismos conductores para la antena y para las líneas de transmisión en torno a ella.

Las pérdidas de la línea de transmisión pueden tenerse en cuenta como si fueran la parte imaginaria de las rotaciones de fase. Por ejemplo, se puede tener en cuenta la pérdida en modo par considerando $\phi_e = \beta_e l(1 - j\alpha_e/\beta_e)$ si la constante de propagación en ese modo es igual a $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$.

El caso más simple

Si $Z_{0e} = Z_{0o}$ y $\phi_e = \phi_o$, los coeficientes de la matriz de dispersión de una antena corta en serie son los siguientes:

$$\begin{aligned}\hat{s}_{11} &= \hat{s}_{13} = \hat{s}_{33} = 0, \\ \hat{s}_{12} &= e^{-j\phi} \cos \phi, \\ \hat{s}_{14} &= -je^{-j\phi} \sin \phi\end{aligned}$$

ecuaciones que corresponden a la descripción contemplada en el § 2.1.4.3 del Informe UIT-R SM.2158 basado en el modelo de desplazador de fase simple. Dado que $Z_{0e} = Z_{DM}/2$ y $Z_{0o} = 2Z_{CM}$, las condiciones indicadas *supra* coinciden con $Z_{CM} = Z_{DM}/4$.

Resultados numéricos

A continuación se presentan varios ejemplos numéricos calculados aplicando las expresiones generales para antenas cortas en serie y antenas abiertas en serie con el propósito de analizar los efectos de las impedancias características, de la dispersión de modos (diferencia de velocidades de fase entre el modo par y el modo impar) y/o de las pérdidas. En las Figs. 9 a 14, el eje horizontal corresponde a la rotación de fase en modo impar ϕ_o dividida por π . En el centro (0,5) del eje horizontal, $\phi_o = \pi/2$. Si la longitud de antena l corresponde a un cuarto de longitud de onda del modo impar en la frecuencia f_0 , entonces $\phi_o = \beta_o l = \pi f/2f_0$. Por consiguiente, se considera que el eje horizontal es $f/2f_0$, la frecuencia f está normalizada por $2f_0$, y el centro (0,5) representa $f = f_0$.

El eje vertical corresponde al valor absoluto de los coeficientes de la matriz de dispersión en modo mixto. En lo que respecta a las conversiones de modo en la antena, sólo son importantes $s_{13} = s_{31}$ (curvas en rojo), que representan dispersiones entre modos directas, y $s_{14} = s_{41}$ (curvas en rojo oscuro), que representan dispersiones entre modos inversas. Los otros coeficientes corresponden a reflexiones o transmisiones en el interior del mismo modo.

FIGURA 9

Antena corta en serie (sin pérdidas) con varias impedancias características. Observar que $s_{13}=0, |s_{11}|=|s_{33}|, |s_{12}|=|s_{34}$ dado que $\phi_e=\phi_o$

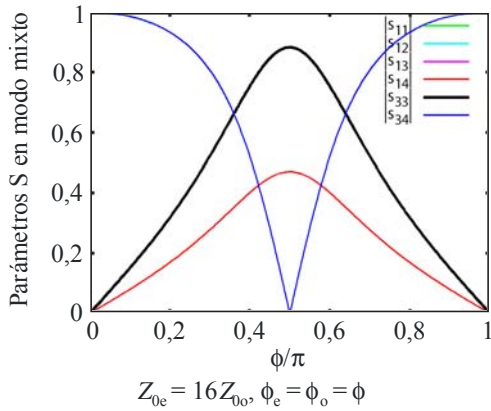
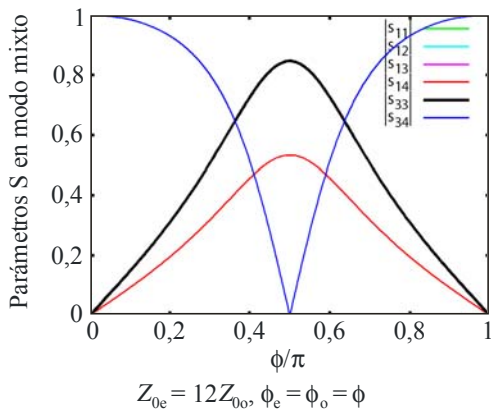
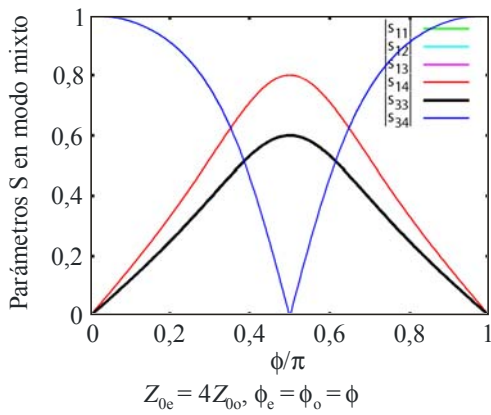
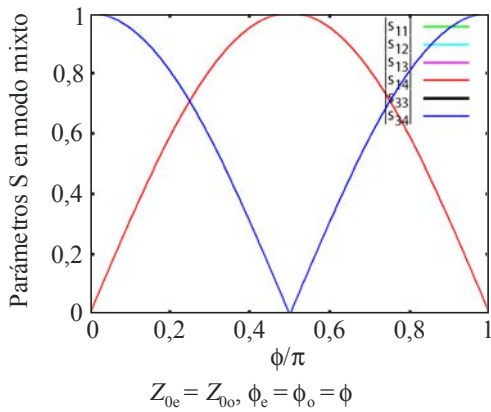


FIGURA 10

Antena abierta en serie (sin pérdidas) con varias impedancias características

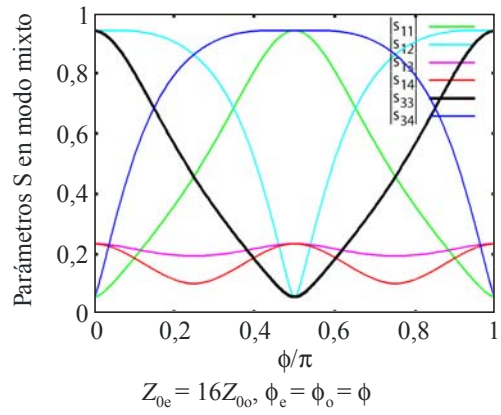
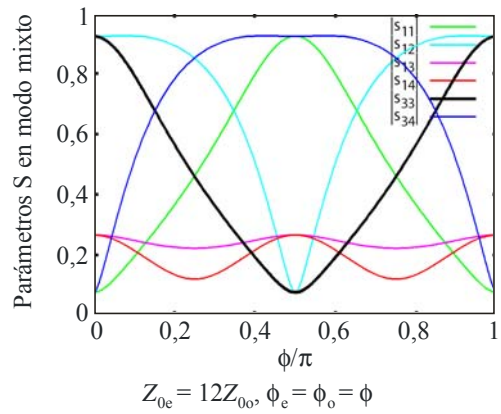
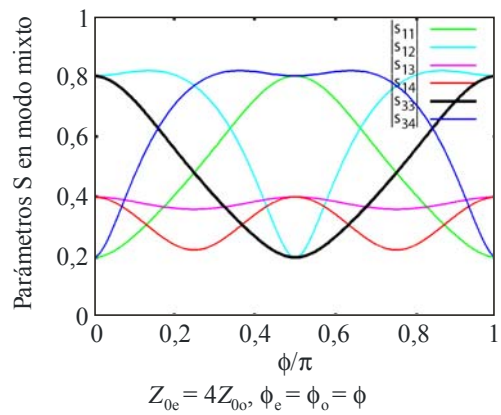
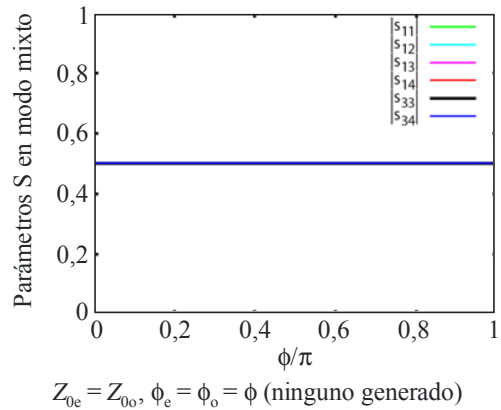
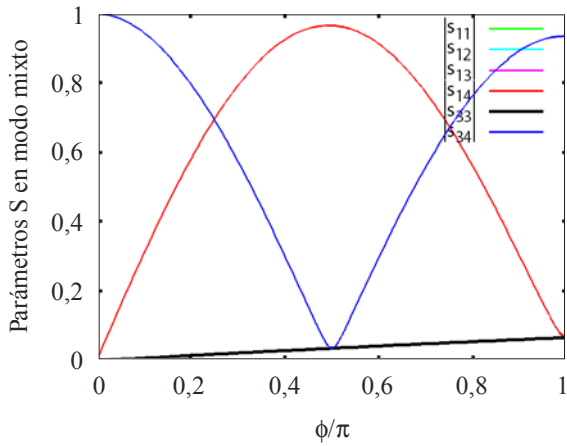
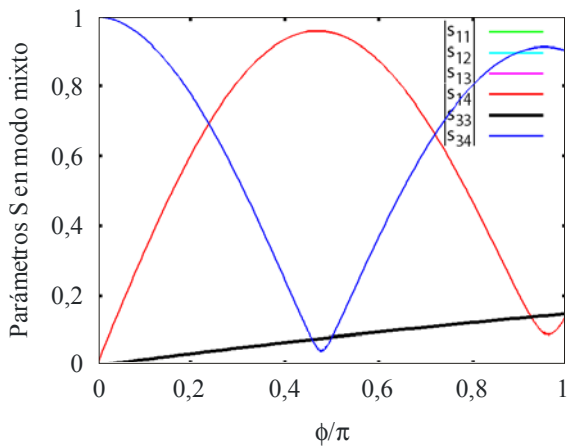


FIGURA 11

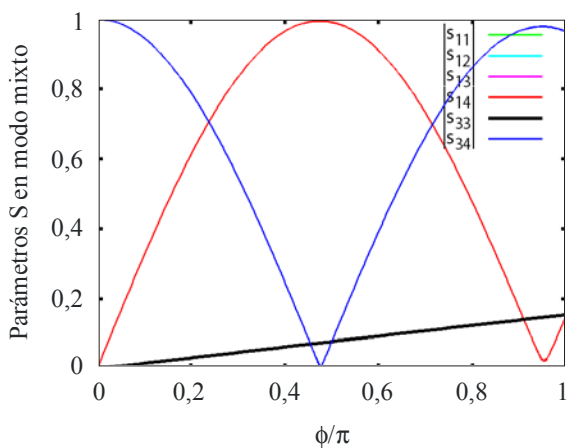
Antena corta en serie con dispersión de modo y/o pérdidas
($Z_{0e}=Z_{0o}$)



Modo par con pérdidas $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



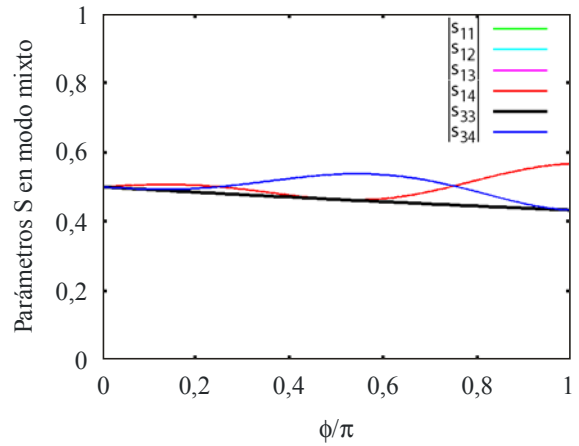
Modo dispersivo, modo par con pérdidas
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



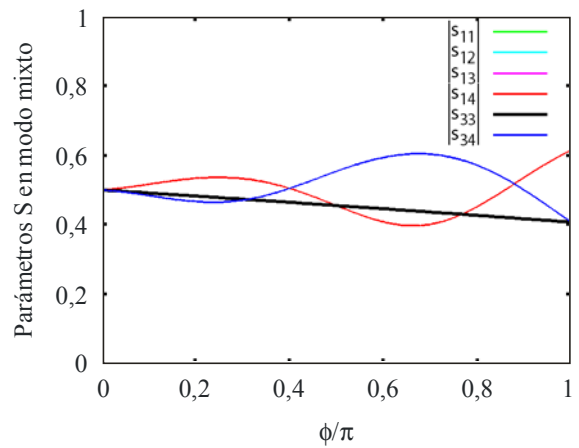
Modo dispersivo $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

FIGURA 12

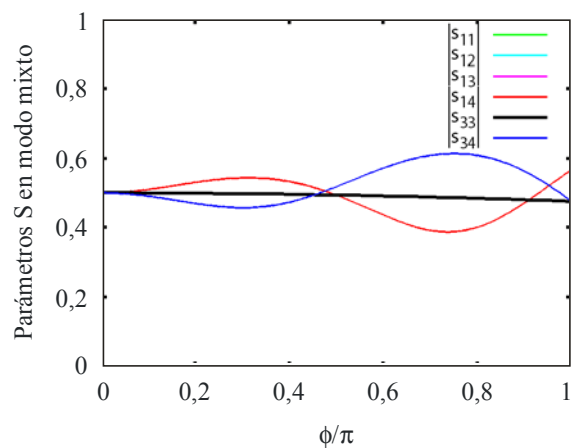
Antena abierta en serie con dispersión de modo y/o pérdidas
($Z_{0e}=Z_{0o}$)



Modo par con pérdidas $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



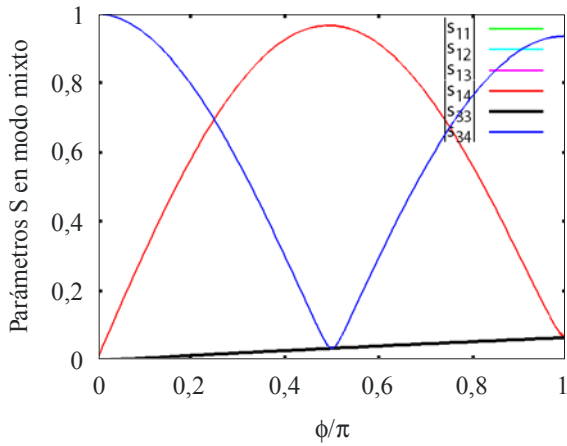
Modo dispersivo, modo par con pérdidas
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



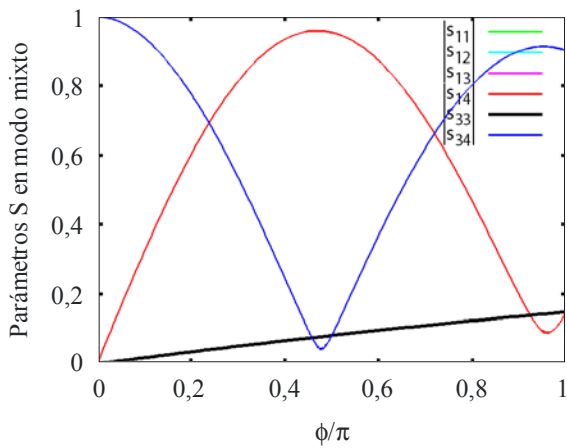
Modo dispersivo $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

FIGURA 13

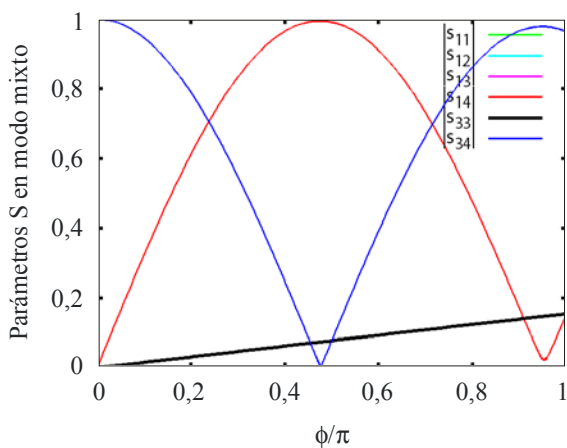
Antena corta en serie con dispersión de modo y/o pérdidas
($Z_{0e} = 12Z_{0o}$)



Modo par con pérdidas $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



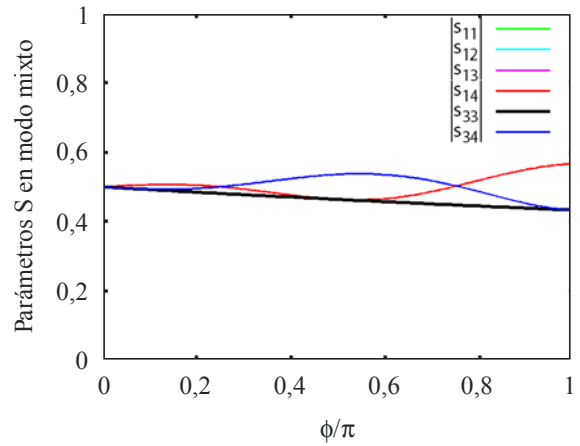
Modo dispersivo, modo par con pérdidas
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



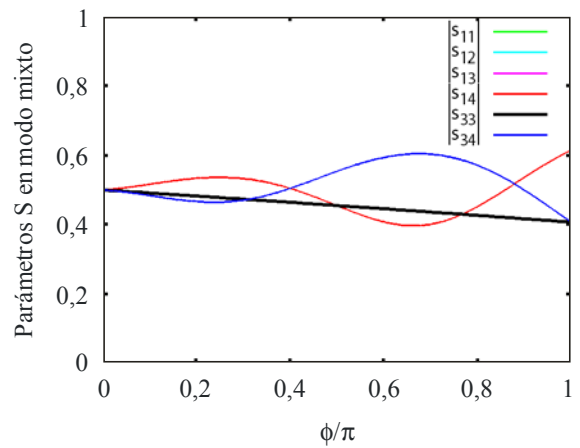
Modo dispersivo $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

FIGURA 14

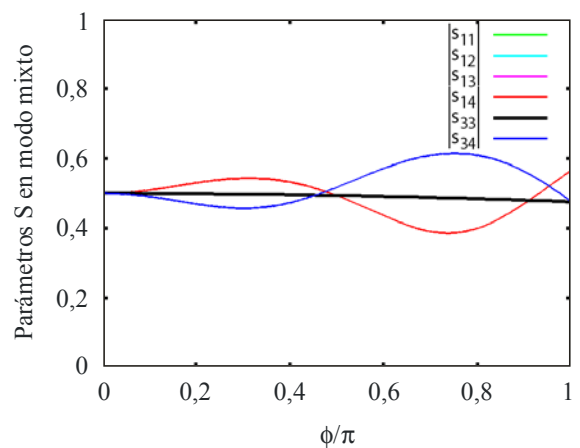
Antena abierta en serie con dispersión de modo y/o pérdidas
($Z_{0e} = 12Z_{0o}$)



Modo par con pérdidas $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Modo dispersivo, modo par con pérdidas
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Modo dispersivo $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

A1.1.3 Conclusiones

Se han formulado expresiones generales de los coeficientes de la matriz de dispersión en modo mixto de una línea de transmisión equilibrada cargada unilateralmente con una antena en serie. Se ha verificado que el modelo de desplazador de fase unilateral simple utilizado en el § 2.1.4.3 del Informe UIT-R SM.2158 para una antena corta en serie constituye el caso más simple de esas expresiones generales. Las expresiones generales de los coeficientes de la matriz de dispersión en modo mixto que representan las dispersiones entre el modo par y el modo impar así como los cálculos numéricos efectuados en diversas condiciones parecen indicar que los modos par e impar están sólidamente acoplados en una amplia gama de frecuencias, no sólo en frecuencias en las que la longitud de la antena corresponde a un múltiplo del cuarto de longitud de onda del modo impar.

Los resultados sugieren que en los cables eléctricos de los hogares que, por lo general, contienen tantas derivaciones de interruptor como número de habitaciones, se generan corrientes en modo par tan intensas como las corrientes de señales en modo impar, y que la densidad espectral de potencia de la señal en modo impar debe ser mantenida a un nivel tan bajo como la correspondiente al modo par.

Anexo 2

Análisis de posibles interferencias en las bandas de ondas métricas y decimétricas

A2 Interferencia causada a sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en bandas de ondas métricas y decimétricas por los armónicos de sistemas de telecomunicaciones por líneas de transporte y distribución de energía eléctrica que funcionan en bandas de ondas métricas entre 80 y 200 MHz

Se han llevado a cabo numerosos estudios sobre las necesidades de protección de los servicios de radiocomunicaciones que funcionan en la gama de frecuencias inferiores a 80 MHz contra los efectos de los sistemas PLT. Sin embargo, se han examinado muy poco, al parecer, los efectos de los armónicos causados por esos sistemas PLT en sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en bandas de ondas métricas y decimétricas.

A2.1 Sistemas radioeléctricos en el hogar

En los hogares se utilizan varios sistemas radioeléctricos que funcionan en la gama de frecuencias comprendida entre 88 y 800 MHz. Entre ellos pueden mencionarse los servicios de radioaficionados, la radio y la televisión, los sistemas de radiobúsqueda, las alarmas personales para personas de edad avanzada o con incapacidad, los sistemas de supervisión de implantes médicos y los sistemas de control de esos implantes.

Las intensidades de campo requeridas varían considerablemente según los sistemas, al igual que los niveles de emisión que pueden causar interferencias perjudiciales. Se ha observado además (Ref. 1) que la intermodulación en las redes de distribución eléctrica puede reducir la profundidad de las ranuras espectrales previstas en los sistemas PLT y que la no linealidad (como, por ejemplo, el efecto de «perno oxidado») produce armónicos. Aunque los armónicos producidos por los sistemas PLT que funcionan en frecuencias inferiores a 200 MHz no ocasionan en realidad problemas importantes por encima de 500 MHz, aproximadamente, pueden causar interferencias perjudiciales a sistemas que funcionan por debajo de dicha frecuencia.

Los servicios de aficionados en la banda de 220 MHz en la Región 2 y los servicios de aficionados y aficionados por satélite en la banda de 432 MHz en todas las regiones pueden resultar particularmente afectados por esos armónicos, puesto que la sensibilidad de esos servicios adquiere valores negativos del orden de $-40 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$. Sin embargo, dado que por lo general las antenas están situadas en el exterior de los edificios y con frecuencia a cierta distancia, no es exagerado suponer que están situadas a una distancia de 10 m de la red de distribución PLT. Se suele suponer también que la atenuación causada por las paredes es igual a 10 dB.

Habitualmente, las intensidades de campo de los servicios de radiodifusión son relativamente importantes, incluso en interiores. Como es natural, esto ha llevado a utilizar antenas de baja calidad, instaladas a menudo en el interior de los edificios y muy próximas a los cables eléctricos, con lo cual la posibilidad de interferencia es relativamente elevada.

Otro servicio probablemente afectado es el de los implantes médicos, que funcionan en la banda 401-406 MHz, conforme a las directrices de la Recomendación UIT-R RS.1346. Esos dispositivos adquieren cada vez mayor importancia en el ámbito de la «cibersalud», debido en especial a los gastos en materia de salud que representa el envejecimiento continuo de la población. Estos dispositivos funcionan en el interior de los edificios y muy cerca de los cables eléctricos. De hecho, los «programadores», nombre que se da a las unidades fijas, casi siempre están conectados a la red de alimentación y, por lo tanto, reciben a través de los cables eléctricos niveles elevados de señales PLT (incluidos los productos de intermodulación y los armónicos), que se transmiten a sus antenas.

Para no causar interferencia al servicio con una atribución a título primario (ayudas a la meteorología), las normas de fabricación de esos equipos exigen la utilización de un mecanismo complejo de tipo «escuchar antes de hablar» (por ejemplo, la norma EN 301 839), según el cual no habrá transmisión si no se respeta un cierto umbral, muy bajo, que puede llegar a $+11 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$, aproximadamente. Por consiguiente, si el nivel de la interferencia causada por los sistemas PLT es superior a ese umbral, el programador no establece la comunicación con el implante. Además, como es muy probable que entre el programador y los cables eléctricos radiantes haya una distancia de 30 cm, puede preverse una disminución de 30 dB con respecto al servicio de aficionados. Puesto que los sistemas de comunicaciones de implantes médicos no pueden beneficiarse, como las estaciones de aficionados, de las posibles ventajas de la atenuación causada por las paredes o por el diagrama de radiación de la antena, sus criterios de protección contra la potencia radiada por las PLT pueden ser considerados muy similares a los que necesitan los servicios de aficionados.

Aunque los servicios de radiobúsqueda en ondas métricas no son tan populares como antes, todavía se utilizan porque, en muchos casos, son más baratos que otras opciones (por ejemplo, los teléfonos celulares). Muchos de ellos funcionan en bandas de ondas métricas y están por tanto expuestos a interferencias en la frecuencia fundamental de los equipos PLT que funcionan a frecuencias inferiores a 200 MHz y sus armónicos.

Las alarmas personales que funcionan en ondas métricas o en bandas de 400 MHz son utilizadas por personas de edad avanzada y con incapacidad, en particular cuando viven solas o en establecimientos geriátricos, para pedir ayuda en casos de emergencia. Los transmisores, que suelen ser pequeños y livianos (a menudo, colocados alrededor del cuello), tienen pequeñas antenas de baja ganancia que emiten con una potencia de pocos milivatios. La sensibilidad de los receptores es pues necesariamente elevada. Si se produce una caída, la antena puede quedar bajo el cuerpo de la persona, lo cual disminuirá notablemente el nivel de la señal emitida. También en este caso el receptor puede estar muy cerca de los cables eléctricos y la intensidad de la señal recibida, llegar a valores muy bajos (hasta $0 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$).

A2.1.1 Conclusión

Aunque, en principio, el nivel de los armónicos y los productos de intermodulación que se encuentran fuera de la banda de frecuencias de funcionamiento de un sistema PLT disminuye con la frecuencia, es mucho más probable que el efecto de resonancia de los cables de alimentación de los equipos, y el aumento de la intensidad de campo local resultante, tenga lugar a frecuencias altas que a frecuencias más bajas. Se ha observado que el nivel de protección requerido por el servicio de aficionados y de aficionados por satélite en bandas de ondas métricas y decimétricas contra la frecuencia fundamental y los armónicos de los sistemas PLT es similar a la protección que necesitan otros sistemas que se encuentran generalmente en el hogar, en los cuales un fallo de comunicación causado por interferencias perjudiciales procedente de la radiación de los sistemas PLT podría tener graves consecuencias.

A2.2 Compatibilidad entre el servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas y los dispositivos PLT en interiores en la gama de frecuencias 30-380 MHz

Para las comunicaciones en banda ancha a través de la red de alimentación eléctrica de corriente alterna de baja tensión y las instalaciones en el hogar, algunos equipos PLT utilizan la gama de frecuencias hasta 300 MHz.

El presente análisis de compatibilidad se refiere a la protección de los receptores de aeronaves del servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas que funcionan en la banda 30-380 MHz.

En el § A2.2.5.1 se enumeran los requisitos de compatibilidad aplicables a receptores de aeronaves de los servicios aeronáuticos que utilizan la banda 80-380 MHz. Con la aplicación de estos requisitos se obtiene el umbral de interferencia que deben cumplir los sistemas PLT (ver § A2.2.5.2). Para saber si se respeta ese umbral, la máxima densidad espectral de potencia definida en los diversos sistemas PLT por encima de 30 MHz se convirtió en intensidades de potencia/de campo radiadas por los edificios que encaminan comunicaciones PLT de banda ancha (ver § A2.2.5.3). En el § A2.2.5.4 se observa en qué medida los sistemas PLT pueden causar interferencias a los receptores aeronáuticos.

A2.2.1 Análisis de compatibilidad con respecto a la interferencia causada al servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas

En 2000, BNetzA realizó mediciones exhaustivas en señales de cable digitales para determinar la «intensidad de campo mínima deseada» requerida por los sistemas VHF COM, COM UHF, VOR, ILS y LOS VDL Modo 2). Estos valores se pueden convertir en «máximas intensidades de campo tolerables de la interferencia en receptores de aeronaves» aplicando la relación C/I del sistema. En el Cuadro 15 se indican esos valores.

CUADRO 15

Requisitos de compatibilidad en el receptor de aeronave para señales COFDM medidas con un detector de valores casi máximos (QP) con achura de banda de 120 kHz

	Intensidad de campo mínima deseada (dB(μV/m))	C/I (dB)	Máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia (dB(μV/m))
VHF COM Disposición de canales de 8,3 kHz 117,975-137 MHz	16	10	6
VHF COM Disposición de canales de 25 kHz 117,975-137 MHz	16	10	6
UHF COM Disposición de canales de 25 kHz 230-380 MHz	24	7	21
VOR Disposición de canales de 40 kHz 108-117,975 MHz	39	13	26
ILS –LOC Disposición de canales de 40 kHz 108,1-111,95 MHz	32	9	23
VDL Modo 2 118-138 MHz	39	9	30

A2.2.2 Cálculo del umbral de interferencia de los sistemas PLT debido a los requisitos aplicables al servicio aeronáutico

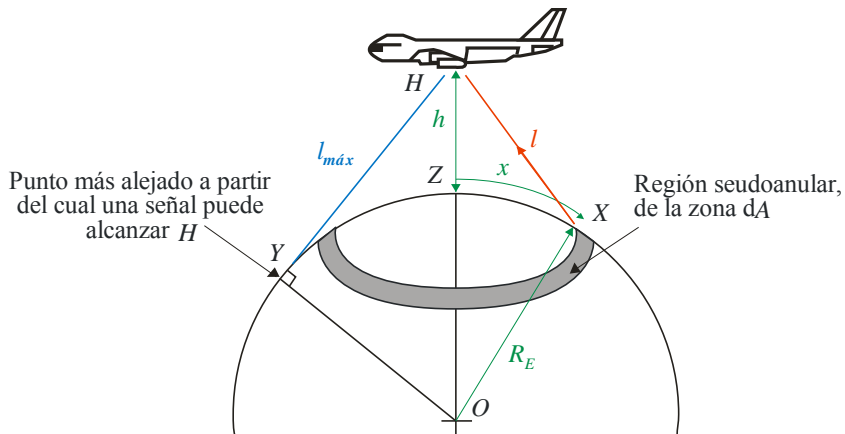
A2.2.2.1 Modelo de compatibilidad

Para evaluar la posible interferencia causada por los efectos combinados de fuentes PLT a los receptores de aeronaves, se utiliza el modelo de compatibilidad descrito en el *Anexo 7 del ECC Informe 024*⁵. Este modelo tiene en cuenta el efecto combinado de una determinada superficie de fuentes de interferencia en relación con la densidad de esas fuentes (fuentes de interferencia por km²). En la Fig. 15 se observa la configuración geométrica. Debido a la combinación de interferencias, el receptor de aeronave observa una zona de ruido aparente más amplia.

⁵ ECC Report 024 (2003), PLT, DSL, Cable Communications (including Cable TV), LANs and their effect on Radio Services, <http://www.erodocdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=4&alldata=1>.

FIGURA 15

Modelo para determinar el efecto combinado de interferencias



Informe SM.2212-15

Para una sola interferencia que afecta directamente el receptor (propagación en el espacio libre), la longitud de trayecto l puede calcularse de la siguiente manera:

$$f[x] = \frac{1}{4 \pi l^2}$$

$$l = \sqrt{R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2}$$

Donde los valores de x y l están físicamente limitados por la curvatura de la Tierra:

$$x_{\max} = R_E \text{ArcCos}\left[\frac{R_E}{R_E + h}\right] \text{ y } l_{\max} = \sqrt{h(h + 2R_E)} \text{ respectivamente}$$

$$f[x] = \frac{1}{4 \pi (R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)}$$

$$\text{PFD} = \frac{P_{\text{TX}} G_{\text{TX}} D R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\text{Sin}\left[\frac{x}{R_E}\right]}{(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)} dx$$

y para la forma normalizada:

$$\text{PFD}_{\text{for unit EIRP density}} = \frac{R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\text{Sin}\left[\frac{x}{R_E}\right]}{(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)} dx$$

A2.2.2.2 Hipótesis

Se utilizaron datos estadísticos de Berlín para ilustrar los efectos de la interferencia en el receptor de aeronave:

La ciudad tiene una superficie de 900 km²; la superficie media que ocupa un edificio es de 1,16 * 10⁻³ km². Dado que el 40% de la superficie está cubierta de edificios (360 km²), se contabilizan 860 edificios/km². Los edificios tienen, en promedio, 6 pisos, lo que supone 5 200 fuentes de interferencia/km². Si se parte del supuesto de que el 10% de los apartamentos tiene acceso a Internet de banda ancha a través de las PLT, la densidad se reduce a 500 fuentes de interferencia/km². Como no todos los módems PLT se utilizan al mismo tiempo, la densidad de las fuentes de interferencia se reduce en un 50%. En otras palabras, la densidad alcanza aproximadamente 250 fuentes de interferencia/km² para una ciudad como Berlín.

A2.2.2.3 Cálculos

La densidad de flujo de potencia autorizada, *DFP*, en el receptor se puede calcular a partir de los valores de la máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia indicados en el Cuadro 15:

$$PFD = \frac{E^2}{120\pi}$$

donde:

DFP: densidad de flujo de potencia (W/m²)

E: máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia (V/m).

La potencia radiante tolerable de una fuente de ruido PLT se obtiene a partir del modelo de compatibilidad descrito en el § A2.2.2.1:

$$h = 1 \text{ km} \quad R_E = 6\,371 \text{ km} \quad D = \frac{250}{\text{km}^2} \quad G_{TX} = 1,64 \quad \text{dBi}$$

$$P_{TX} := \frac{2 \cdot PFD}{D \cdot R_E \cdot G_{TX} \int_{x_1}^{x_2(h)} \frac{\sin\left(\frac{x}{R_E}\right)}{\left[R_E^2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{x}{R_E}\right) \cdot R_E \cdot (h + R_E) + (h + R_E)^2 \right]} dx}$$

$$p_{TX} := 10 \cdot \log\left(\frac{P_{TX}}{10^{-3} \text{ W}}\right)$$

h: altitud de vuelo (km)

R_E: radio de la Tierra (km)

G_{TX}: ganancia de antena de una fuente isotrópica (dBi)

D: densidad de la interferencia expresada en fuentes de interferencia/km²

DFP: densidad de flujo de potencia (W/m²).

También se realizaron cálculos para altitudes de vuelo de 300 m, 1 000 m y 10 km. La diferencia entre el resultado a 300 m y el resultado a 10 km es sólo de 2 dB, lo cual indica que la altitud de vuelo no se considera un factor importante.

En el Cuadro 16 siguiente se resumen los resultados obtenidos para una altitud de 1 km y una densidad de 250 fuentes de interferencia/km². Ese Cuadro contiene la máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia indicada en el Cuadro 1, la DFP máxima calculada en el receptor de aeronave y la máxima potencia radiante tolerable de una fuente de ruido PLT en tierra.

CUADRO 16

Máxima potencia radiante tolerable de una fuente de ruido PLT medida con un detector de valores casi máximos (QP) con achura de banda de 120 kHz

	Máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia en el receptor de aeronave (dB(μV/m))	DFP Máxima densidad de flujo de potencia tolerable en el receptor de aeronave (pW/m²)	PTX Máxima potencia radiante tolerable de una fuente de ruido PLT
VHF COM Disposición de canales de 8,3 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	-80 dBm/10 dB(pW)
VHF COM Disposición de canales de 25 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	-80 dBm/10 dB(pW)
UHF COM Disposición de canales de 25 kHz 230-380 MHz	21	0,334	-65 dBm/25 dB(pW)
VOR Disposición de canales de 40 kHz 108-117,975 MHz	26	1,056	-60 dBm/30 dB(pW)
ILS-LOC 108,1-111,95 MHz	23	0,529	-63 dBm/27 dB(pW)
VDL Modo 2 118-138 MHz	30	2,653	-56 dBm/34 dB(pW)

Los valores de la máxima potencia radiante tolerable de una fuente de ruido PLT varía según los diferentes servicios entre 10 y 34 dB(pW).

A2.2.3 Cálculo de la densidad de flujo de potencia causada por los límites proporcionados en normas aplicables a sistemas PLT

La máxima densidad espectral de potencia de los equipos PLT utilizados para las comunicaciones en el hogar ha sido normalizada, en particular por el UIT-T y el IEEE.

CUADRO 17

Máxima densidad espectral de potencia según diferentes organizaciones

	Máxima densidad espectral de potencia para dispositivos PLT por encima de 30 MHz
Enmienda 1 a la Recomendación UIT-T G.9960	-85 dBm/Hz (r.m.s.)
Proyecto de norma IEEE P1901	-85 dBm/Hz (AV)

En cuanto a las señales de comunicación similares al ruido, la relación entre las lecturas del receptor de medición obtenidas a partir de diferentes detectores es la siguiente:

- a) valor máximo (PK) 0 dB valor de referencia
- b) valor casi máximo (QP) -2 dB
- c) valor cuadrático medio (r.m.s.) -10 dB
- d) valor medio (AV) -12 dB

En el cálculo siguiente se utiliza un nivel máximo de PSD de transmisión de -85 dB/Hz (r.m.s.). Se da por supuesto que la máxima densidad espectral de potencia es constante para frecuencias superiores a 30 MHz. Se realizó con el mismo método (modelo de elementos finitos) la conversión a la intensidad de campo radiada combinada a 10 metros de distancia del edificio (medida con un detector de valores máximos). Si se considera una antena isotrópica, la intensidad de campo puede convertirse en potencia aplicando la siguiente fórmula:

$$P_i = E + 20 \log d - 74,8$$

donde:

- E : intensidad de campo dB(μ V/m)
- P_i : potencia (dBm)
- d : distancia (km).

Se aplicó la misma hipótesis que en el § A2.2.2.2: una densidad de 250 fuentes de interferencia/km² y una altitud de vuelo de 1 km.

CUADRO 18

Máxima densidad de flujo de potencia en el receptor de aeronave

Máxima densidad espectral de potencia para dispositivos PLT por encima de 30 MHz	Intensidad de campo radiada combinada a 10 metros de distancia del edificio	Potencia combinada correspondiente a la intensidad de campo	DFP Densidad de flujo de potencia combinada en el receptor de aeronave
-85 dBm/Hz (valor cuadrático medio)	33 dB(μ V/m) (valor máximo)	4 nW (valor máximo)	3,903 pW/m ² (valor máximo)

En el Cuadro 18 se observa que un dispositivo PLT, con una máxima densidad espectral de potencia de -85 dBm/Hz (r.m.s.), emite una radiación de una intensidad de campo de 33 dB(μ V/m) medida con un detector de valores máximos.

A2.2.4 Comparación entre el umbral de interferencia aplicable a los receptores de aeronave y la interferencia causada por sistemas PLT

En el Cuadro 16 se enumeran la máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia y la máxima densidad de flujo de potencia tolerable en el receptor de aeronave. El valor de la densidad de flujo de potencia combinada correspondiente, radiada por sistemas PLT y medida en el receptor, figura en el Cuadro 18. Este valor se convierte a la máxima intensidad de campo radiada medida en el receptor.

En el Cuadro 19, la intensidad de campo y la DFP tolerables (ver § A2.2.2) se comparan con los valores de la radiación (ver § 4). Para una mejor comparación, los valores máximos utilizados para la interferencia de los sistemas PLT del Cuadro 18 se refieren a los valores casi máximos en las siguientes consideraciones, esto es, una reducción de 2 dB.

CUADRO 19

Comparación entre la intensidad de campo radiada combinada y la máxima intensidad de campo tolerable en el receptor de aeronave, y cálculo del margen de protección necesario (todos los valores corresponden a valores casi máximos)

	Máxima intensidad de campo tolerable de la interferencia (dB(μV/m))	Máxima densidad de flujo de potencia tolerable (pW/m²)	Intensidad de campo radiada combinada (dB(μV/m))	Densidad de flujo de potencia radiada combinada (pW/m²)	Margen de protección necesario (dB)
VHF COM Disposición de canales de 8,3 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	30	2,512	-24
VHF COM Disposición de canales de 25 kHz 117,975-137 MHz	6	0,0106	30	2,512	-24
UHF COM Disposición de canales de 25 kHz 230-380 MHz	21	0,334	30	2,512	-9
VOR Disposición de canales de 40 kHz 108-117,975 MHz	26	1,056	30	2,512	-4
ILS-LOC 108,1-111,95 MHz	23	0,529	30	2,512	-7
VDL Modo 2 118-138 MHz	30	2,653	30	2,512	0

Los valores de la última columna del Cuadro 19 indican el margen necesario para reducir la interferencia causada por los dispositivos PLT. Si se tiene en cuenta una máxima densidad espectral de potencia para dispositivos PLT de -85 dBm/Hz (r.m.s.), será necesaria una disminución de 24 dB en los sistemas que funcionan en la banda de ondas métricas. Los márgenes varían entre 0 y -24 dB según el sistema.

Estos cálculos se efectuaron para una densidad de interferencia de 250 fuentes de interferencia/km². La corrección es proporcional a la densidad de fuentes de interferencia (ver también Documento 1A/157).

CUADRO 20

Valores de corrección según la densidad de las fuentes de interferencia

Densidad de la interferencia (fuentes de interferencia/km²)	Valor de corrección (dB)
50	7
100	4
150	2

CUADRO 20 (Continuación)

Densidad de la interferencia (fuentes de interferencia/km ²)	Valor de corrección (dB)
200	1
250	0
300	-1

A2.2.5 Conclusiones

Suponiendo una máxima densidad espectral de potencia para dispositivos PLT de -85 dBm/Hz (r.m.s.), valor definido actualmente por ejemplo en la Recomendación UIT-T G.9960, todos los sistemas de radiocomunicación aeronáutica estudiados en la gama de frecuencias superiores a 80 MHz, excepto el sistema VDL Modo 2, estarán expuestos a interferencias causadas por los sistemas PLT en el receptor de aeronave. Los sistemas afectados son VHF COM, UHF COM, VOR e ILS LOC.

El margen necesario para proteger los sistemas aeronáuticos llega a 24 dB, valor aplicable a los que funcionan en la banda de ondas métricas. En otras palabras, la máxima densidad espectral de potencia de las PLT debe ser reducida a ese valor.

A2.3 Modelo de combinación PLT aplicable a los sistemas de radiocomunicación y radionavegación aeronáutica

Teniendo en cuenta pérdidas de trayecto en espacio libre, la pérdida de acoplamiento mínima se puede traducir en distancia de separación mínima para una sola fuente aplicando la fórmula siguiente:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$$

donde:

L_{bf} = pérdida de transmisión básica en espacio libre (dB)

f = frecuencia (MHz)

d = distancia (km)

La combinación de todas las fuentes puntuales puede obtenerse con la siguiente fórmula:

$$A = \frac{W_{eirp} \lambda^2 G_r \rho R_e}{16\pi(R_e + h)} \cdot \ln \left(\frac{(2(R_e + h)H + h^2)}{h^2} \right)$$

donde:

A = interferencia combinada media (vatios por unidad de anchura de banda)

W_{eirp} = valor equivalente medio de la p.i.r.e. del dispositivo PLT (vatios por unidad de anchura de banda)

λ = longitud de onda (m)

G_r = ganancia de antena del receptor afectado (dB)

ρ = densidad media de emisores PLT (emisores por m²)

R_e = radio efectivo de la Tierra (m)

R = radio de la zona observada u horizonte radioeléctrico

h = altura de la antena receptora por encima del nivel del suelo (m)

$H = R_e(1 - \cos(R/R_e))$.

Anexo 3

Radiación de radiofrecuencias procedente de sistemas PLT en las bandas de ondas métricas y decimétricas

A3 Radiación de radiofrecuencias procedente de sistemas PLT en las bandas de ondas métricas y decimétricas

En el presente Anexo se examina la incidencia en los servicios de radiocomunicaciones de la radiación procedente de sistemas de telecomunicaciones por cable, incluidos los sistemas de telecomunicaciones por líneas de transporte y distribución de energía eléctrica (PLT), así como los criterios necesarios para su protección. Inicialmente, los sistemas PLT funcionaban a frecuencias inferiores a 30 MHz y, por consiguiente, la radiación emitida también correspondía a esa gama de frecuencias. Lamentablemente, se utilizan cada vez más cables eléctricos para la transmisión de datos de banda ancha. Dado que, por lo general, no están concebidos para la transmisión de datos de gran anchura de banda, ni se han readaptado con ese fin, este tipo de cables será fuente de radiaciones indirectas. Los receptores de radiodifusión situados cerca de un cable de la red de alimentación que transporta señales PLT perciben esa radiación como un aumento del umbral de ruido, afectando de esa forma la capacidad del receptor para captar señales de baja intensidad. Las mediciones efectuadas en dispositivos PLT revelan que la radiación se produce a frecuencias superiores a 300 MHz. En el presente Informe se presenta un resumen de esos resultados y su incidencia en los servicios de radiocomunicaciones.

Este Anexo completa el Informe aportando datos sobre análisis, pruebas de laboratorio, pruebas de campo y varios programas de medición que pueden consultarse en los Informes UIT-R SM.2158 y UIT-R SM.2157.

A3.1 Mediciones de módems PLT realizadas por el Institut für Rundfunktechnik GmbH

En esta sección se facilita información técnica sobre la calidad de funcionamiento y las características de radiación de algunos sistemas PLT, en especial los resultados de mediciones de utilización del espectro de módems de telecomunicaciones por líneas de transporte y distribución de energía eléctrica (PLT) modernos llevadas a cabo en el Institut für Rundfunktechnik GmbH (IRT), centro principal de investigación y desarrollo de las organizaciones de radiodifusión pública en Alemania, Austria y Suiza. La información proporcionada tiene por objetivo contribuir a la evaluación de interferencias procedentes de dispositivos PLT.

A3.1.1 Descripción general de las mediciones

Las gamas de frecuencias de las dos tecnologías PLT tradicionales utilizadas en todos los países de Europa hasta 2010 son las siguientes: 2-30 MHz para HomePlug AV y 2-32 MHz para UPA. Se utiliza el ranurado de frecuencias para reducir al mínimo la interferencia causada a señales de las bandas de frecuencias utilizadas por los operadores del servicio de radioaficionados. Además, con la intención de reducir la interferencia causada a otros usuarios en esas partes del espectro de frecuencias, la potencia de transmisión en diversas gamas de frecuencias se reduce en aproximadamente 30 dB. Desde finales de 2009 están a la venta en el mercado adaptadores que, al parecer, permiten alcanzar velocidades de transmisión brutas, de hasta 1 Gbit/s (velocidad máxima). Contrariamente a la norma HomePlug AV, a la Recomendación UIT-T G.9960 (06/10) y a la norma IEEE 1901 (también llamada HomePlug AV2), esos adaptadores utilizan una gama de frecuencias considerablemente más amplia (de 2 a 30 MHz y de 50 a 305 MHz), que incluye la banda II de ondas métricas (FM) y la banda III (DAB). Las mediciones de utilización del espectro de estas tecnologías PLT, realizadas en particular mediante un ejemplar del chip mediastream, la

placa de circuitos integrados Gigabit más reciente de Gigle⁶, permiten evaluar, en condiciones realistas de carga, la calidad de funcionamiento de los cables eléctricos así como los posibles niveles de radiación. Queda por aclarar en qué medida la utilización de esos adaptadores PLT puede causar interferencias o efectos no deseados en las bandas de radiodifusión.

A3.1.2 Calidad de funcionamiento PLT

Los productos Allnet, Devolo y Zyxel utilizan el mismo juego de chips INT6300 de Intellon. Por su parte, los productos AcBel y Conceptronic utilizan el juego de chips DSS9010 de DS2. Sin embargo, se pueden observar diferencias de calidad de funcionamiento. Los valores medidos indican una gran calidad de funcionamiento en todos los dispositivos de alimentación eléctrica que cumplen el protocolo de control de transmisión (*TCP, transmission control protocol*). Incluso a una distancia de 22 m y en diferentes fases de corriente, esos sistemas ofrecen velocidades binarias de 50 a 74 Mbit/s que, por ejemplo, permiten la transmisión continua de dos señales de alta definición manteniendo una reserva suficiente para otros tipos de comunicaciones a una velocidad de transferencia de 10 Mbit/s. Los adaptadores Allnet, Devolo y Zyxel, así como los adaptadores AcBel y Conceptronic, tienen una velocidad de transmisión máxima nominal de 200 Mbit/s, o sea una velocidad binaria neta máxima de aproximadamente 80 Mbit/s. Los adaptadores Gigabit power line HD⁷ de Belkin que poseen un juego de chips mediastream de Gigle (GGL541) deben ser analizados separadamente puesto que son los únicos que tienen una conexión a la red de tipo Gigabit y una velocidad de transmisión máxima nominal de 1 000 Mbit/s. En condiciones de funcionamiento real, la velocidad binaria neta máxima puede ser considerablemente inferior. Sin embargo, al utilizar el espectro de frecuencias comprendidas entre 50 y 305 MHz, el juego de chips GGL541 de Gigle permite una velocidad binaria claramente superior a la del juego de chips de Intellon (2-30 MHz) y de DS2 (2-32 MHz), lo que se ha podido medir con los adaptadores de Belkin a una distancia de 2,3 m, por ejemplo. A «distancias más cortas», la calidad de funcionamiento del juego de chips de Gigle es superior a la correspondiente al juego de chips de Intellon y de DS2 en un factor de 3,5. A 22 m, la calidad de funcionamiento de los adaptadores de Belkin se deteriora. A partir de una longitud de cable de aproximadamente 10 m o en condiciones de atenuación superior entre los dos adaptadores, los dispositivos sólo funcionan en el modo HomePlug AV (banda de frecuencias inferiores: 2-30 MHz) y el caudal de datos de 50 Mbit/s es entonces aproximadamente 30% inferior al de los adaptadores Intellon y DS2.

Desde diciembre de 2010 están a la venta adaptadores PLT que aplican la norma IEEE 1901 correspondiente. AR7400 de Atheros⁸ ha sido el primer juego de chips en el mercado compatible con esa norma. Utiliza una gama de frecuencias más amplia (2 MHz a 68 MHz) que la indicada en la norma HomePlug AV (2 a 30 MHz), con exclusión de las bandas de radiodifusión en FM (76-108 MHz) y las bandas DAB (174-240 MHz), utilizadas en todo el mundo. La ampliación de la gama de frecuencias y la utilización de un método de modulación más eficaz (hasta 4096 QAM) permiten a los productos PLT con chip AR7440 alcanzar velocidades de comunicación binarias superiores a 500 Mbit/s PHY (velocidad máxima). Varios fabricantes de adaptadores PLT muy conocidos, como Netgear, Trendnet, TP-Link, Devolo, D-Link, AVM, Billion, MSI y Allnet ya han anunciado o comercializado dispositivos PLT compatibles con la norma IEEE 1901.

⁶ En diciembre de 2010, Broadcomm adquirió la empresa Gigle Networks Inc.

⁷ Gigabit Power line HD F5D4076 S v1, F5D4076 S v1 y MSI ePower 1000HD utilizan el juego de chips de Gigle (GGL541) y el resultado de sus mediciones es similar.

⁸ Qualcomm adquirió Atheros tras haber adquirido Intellon poco antes.

En el Cuadro 21 se indican las características técnicas de los adaptadores PLT que han sido medidos. Se pusieron a prueba tres pares de adaptadores de los fabricantes Allnet, Devolo y Zyxel que cumplen la norma HomePlug AV, así como dos dispositivos UPA de AcBel y Conceptronic. Por otra parte, también se efectuaron mediciones en los adaptadores PLT Gigabit de Belkin y los resultados se consignaron en el Cuadro; son los únicos que tienen una velocidad de transmisión nominal máxima de 1 000 Mbit/s. Por último, se pusieron también a prueba un par de adaptadores Netgear con una velocidad de transmisión máxima nominal de 500 Mbit/s.

CUADRO 21

Especificaciones de los adaptadores PLT puesto a prueba

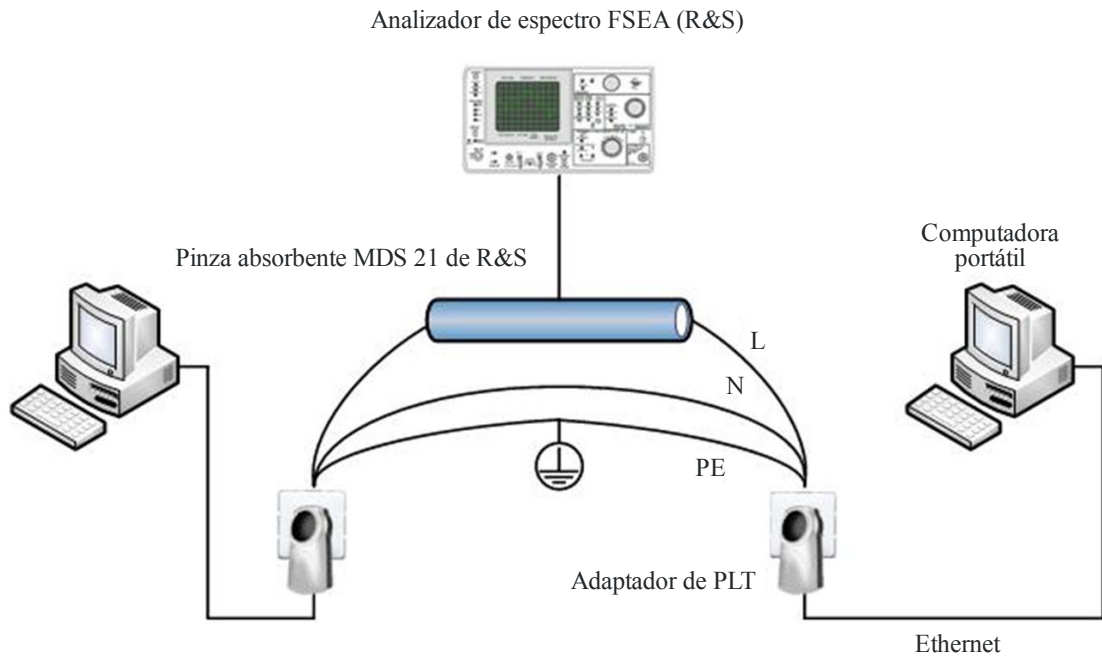
Fabricante	Allnet	Devolo	Zyxel	Belkin	AcBel	Conceptronic	Netgear
Producto	ALL168203	dLAN 200 Avplus	PLA-400 v2	Gigabit power line HD	DH10PF	Homeplug 200 Mbit/s	Power line AV 500 XAVB5001
Norma	Homeplug AV			HPAV2 mediastream	UPA		IEEE-1901
Velocidad de transmisión (nominal)	200 Mbit/s			1 000 Mbit/s	200 Mbit/s		500 Mbit/s
Espectro	2-30 MHz			2-30 MHz 50-300 MHz	2-32 MHz		2-68 MHz
Protocolos	CSMA/CA			CSMA/CA TDMA MAC	TDMA MAC		
Modulación	OFDM – 1 155 portadoras, 1 024/256/64-QAM, QPSK, BPSK				OFDM – 1 536 portadoras		OFDM – 4 096 portadoras

A3.1.3 Mediciones del espectro de frecuencias

Para realizar las mediciones, uno de los conductores del cable de eléctrico que transmite el tráfico de datos fue colocado en una pinza absorbente MDS 21 de R&S, quedando los otros conductores fuera de la pinza (ver Fig. 16). En la gama de frecuencias 30-1 000 MHz, las especificaciones de la pinza indican una atenuación de 17 dB; por lo tanto, ese valor fue añadido a los niveles indicados para determinar el valor correcto de ondas decamétricas presentes en el cable. Para que fueran representativas de las normas correspondientes a ese tipo de alimentación, se efectuaron mediciones en dispositivos AcBel, Allnet y Belkin. Entre dos adaptadores PLT idénticos se efectuó una transferencia de datos que llevó los dispositivos a su límite de funcionamiento. Se utilizó un analizador de espectro FSEA para registrar el espectro de frecuencias durante el periodo activo de la medición de la calidad de funcionamiento.

FIGURA 16

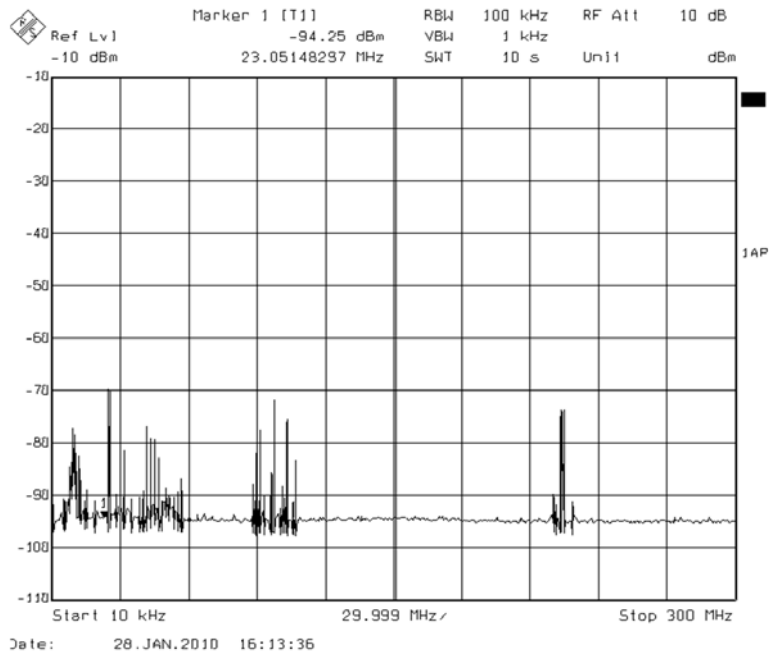
Configuración del método de medición utilizando una pinza absorbente



Informe SM.2212-16

FIGURA 17

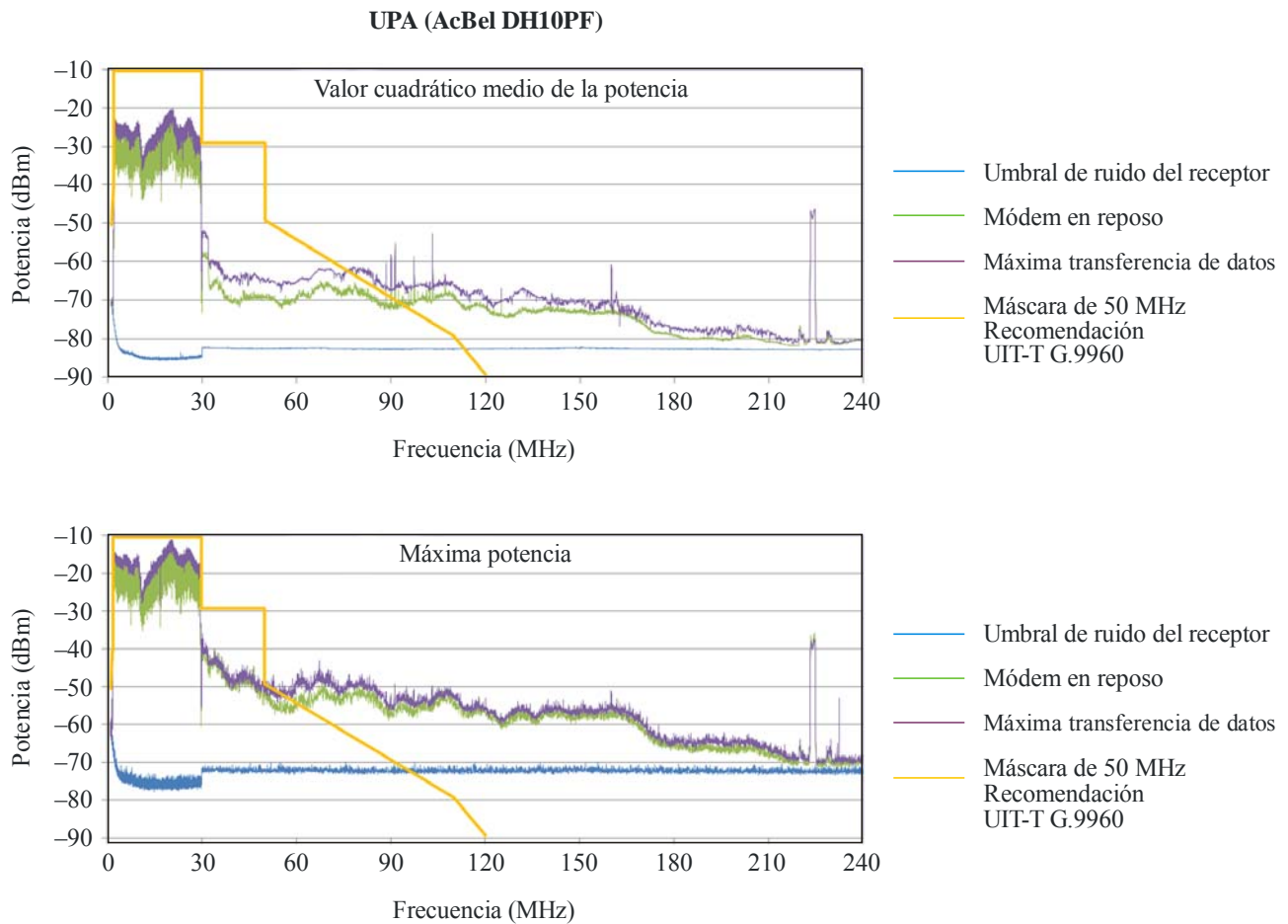
Señales y ruido ambiental visibles (entre otros) en el sitio de medición:
SW, FM (87,5-108 MHz), DAB (en torno a 215 MHz)



Informe SM.2212-17

FIGURA 18

Espectro de potencia del adaptador UPA de AcBel en modo reposo y para caudal de datos máximo



Informe SM.2212-18

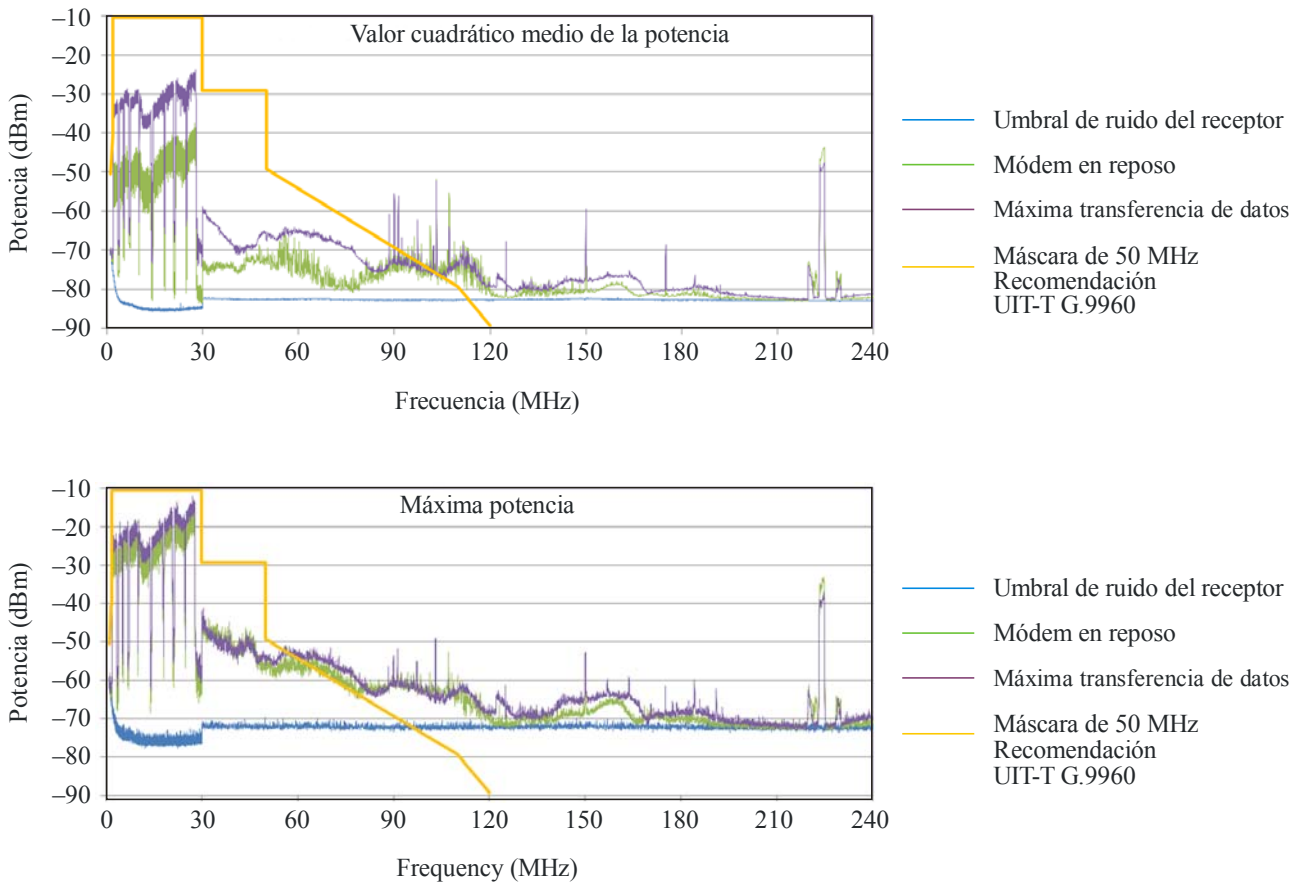
Según el fabricante, los adaptadores PLT compatibles con la norma UPA utilizan la gama de frecuencias 2-32 MHz. En el análisis del espectro, sin embargo, se observa (ver Fig. 18) que esa norma produce componentes espectrales por encima de 32 MHz, hasta casi 190 MHz, aunque claramente atenuados en unos 50 dB. Los niveles de la gama de funcionamiento real son de aproximadamente -15 dBm (atenuación de la pinza absorbente incluida).

Según el fabricante, los adaptadores PLT compatibles con la norma HomePlug AV utilizan la gama de frecuencias 2-30 MHz. Aunque las especificaciones de los sistemas HomePlug AV y UPA indican la misma velocidad de transmisión máxima de 200 Mbit/s, los espectros de frecuencias son diferentes. En la gama de frecuencias más baja, los adaptadores HomePlug AV muestran niveles de potencia similares a los niveles correspondientes a los dispositivos UPA, pero sus componentes espectrales altos presentan niveles inferiores (ver Fig. 19). Esos componentes espectrales llegan hasta 70 MHz, aproximadamente.

FIGURA 19

Espectro de potencia del adaptador Homeplug AV de Allnet en modo reposo y para caudal de datos máximo

Homeplug AV (Allnet ALL 168203)

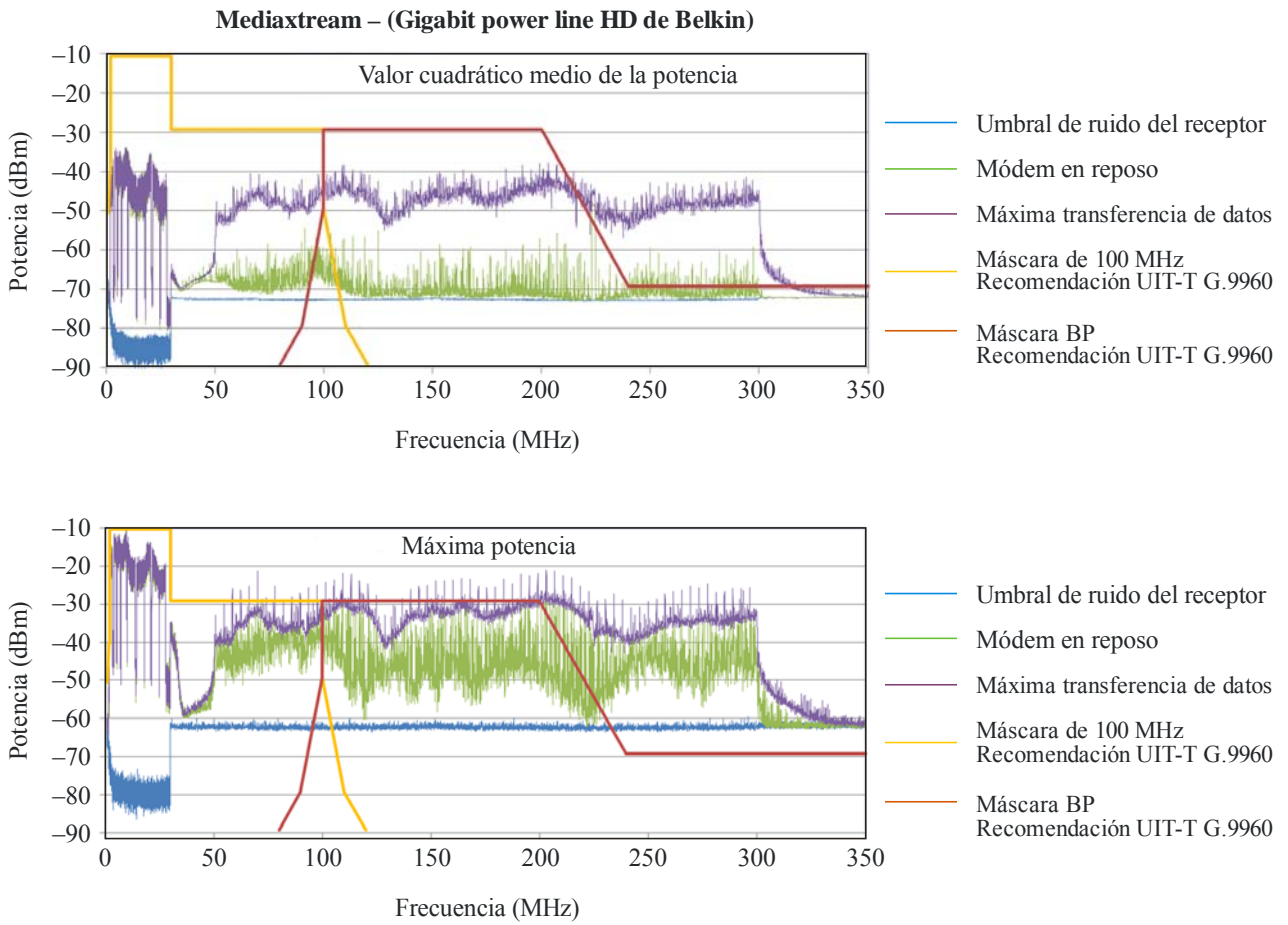


Informe SM.2212-19

Según el fabricante, los adaptadores PLT con juego de chips mediastream pueden establecer comunicaciones en la gama de frecuencias 2-30 MHz (HPAV) y 50-300 MHz. Sin embargo, la utilización simultánea de ambas gamas del espectro no es (todavía) posible. Cuando se trata de una transferencia de datos con varias conexiones TCP, no hay duda de que la comunicación entre los dos adaptadores tiene lugar en la gama de frecuencias 50-305 MHz (banda superior) (ver Fig. 20). En esa gama de frecuencias los niveles son aproximadamente 25-30 dB inferiores a los de sistemas comercializados por AcBel y Devolo (2-30/32 MHz). Aunque la comunicación entre dispositivos PLT que cumplen la norma mediastream se efectúa en la banda superior, también se observan simultáneamente componentes espectrales en la banda inferior.

FIGURA 20

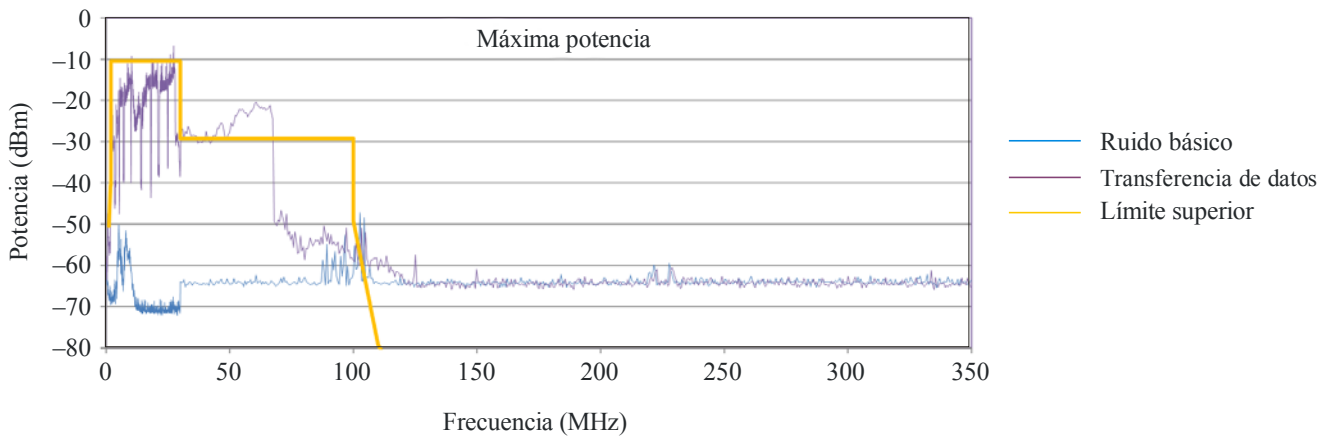
Espectro de potencia del adaptador de Belkin en modo reposo y para caudal de datos máximo



Informe SM.2212-20

FIGURA 21

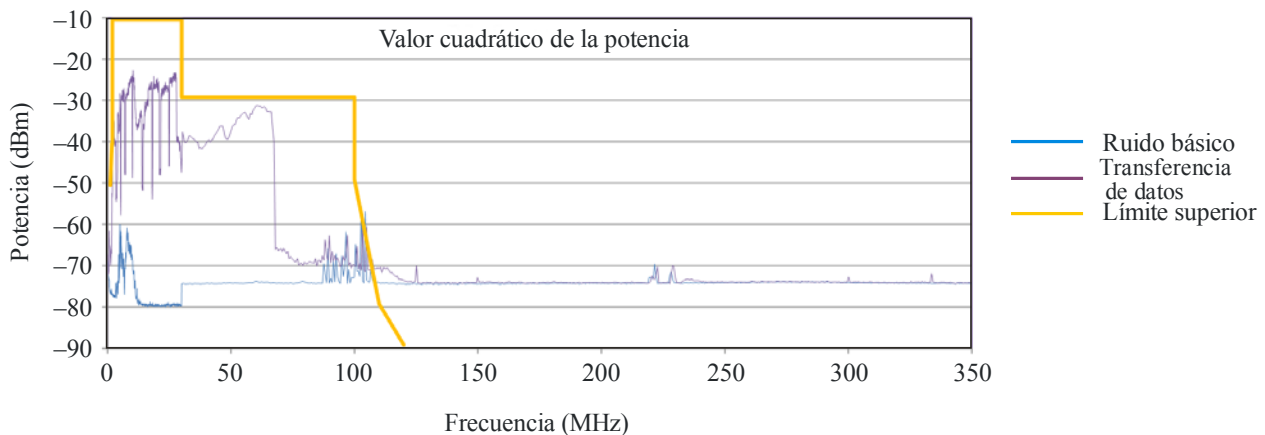
Máximo espectro de potencia del adaptador AV500 de Netgear para caudal de datos máximo (dBm)
Límite superior (en amarillo) correspondiente a la Recomendación UIT-T G.9960



Informe SM.2212-21

FIGURA 22

Espectro de potencia RMS del adaptador AV500 de Netgear para caudal de datos máximo (dBm)



Informe SM.2212-22

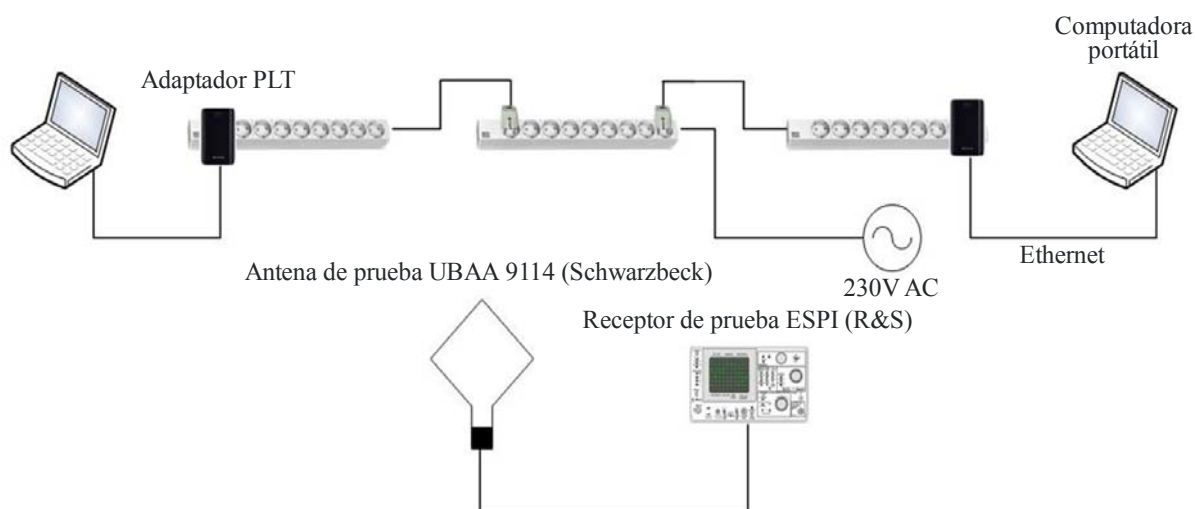
A3.1.4 Radiación de interferencias procedentes de módems PLT «Power line Gigabit» F5D4076-S v1 de Belkin

Dos extensiones con enchufes múltiples, cada una con un cable de alimentación de 1,5 m de largo, fueron conectadas a la izquierda y la derecha de otra extensión con enchufes múltiples conectada al enchufe eléctrico mural (230 V), de tal forma que las dos primeras quedaron colocadas en una mesa a una distancia de 3 m (ver la configuración de medición de la Fig. 23). Los módems de Belkin fueron enchufados a la toma de corriente más exterior y cada uno de ellos se conectó a una computadora portátil. Seguidamente se transmitieron datos a una velocidad neta de hasta 250 Mbit/s (TCP) utilizando el *software* IxChariot. Se colocó una antena Schwarzbeck UBAA 9114 a una distancia de 3 m y una altura de 1,5 m. La intensidad de campo polarizada horizontal y verticalmente se midió en la gama de frecuencias 30-320 MHz. Las mediciones se efectuaron con un receptor de prueba EMC ESPI de R&S. La configuración del receptor de prueba fue la siguiente:

- Anchura de banda de la medición: 120 kHz.
- Etapa de medición: 40 kHz.
- Tiempo de medición: 100 ms.
- Con preamplificador.
- Atenuación: 10 dB.
- Detectores de medición: valores máximos y valores cuadráticos medios.

La velocidad de conversión (factor de antena) de la antena de banda ancha UBAA 9114 fue introducida en el receptor bajo la forma de una tabla de valores en función de la frecuencia de recepción para que los resultados de la medición fueran registrados directamente en dB(μ V/m). Dos series de mediciones permitieron registrar, para cada frecuencia, el valor máximo y el valor cuadrático medio de la intensidad de campo. No se efectuaron mediciones con un detector de valores casi máximos porque cada medición hubiera necesitado muchas horas. En cambio, el detector de valores casi máximos fue utilizado intencionadamente para reproducir la incidencia de las interferencias impulsivas en el oído humano durante la recepción de un programa de radiodifusión analógica. A excepción de la banda FM, las interferencias superiores a 30 MHz afectan los servicios digitales, lo cual es más fácil de describir con valores cuadráticos medios y valores máximos.

FIGURA 23

Configuración utilizada para medir la radiación de interferencias

Informe SM.2212-23

Los siguientes valores de intensidad de campo fueron medidos y registrados con polarización horizontal y vertical:

- ruido del sistema de recepción utilizado en la medición (referencia más baja del sistema de medición);
- ruido ambiental;
- interferencia cuando los módems están en reposo,
- interferencia cuando los módems transfieren datos a una velocidad binaria bruta de hasta 250 Mbit/s.

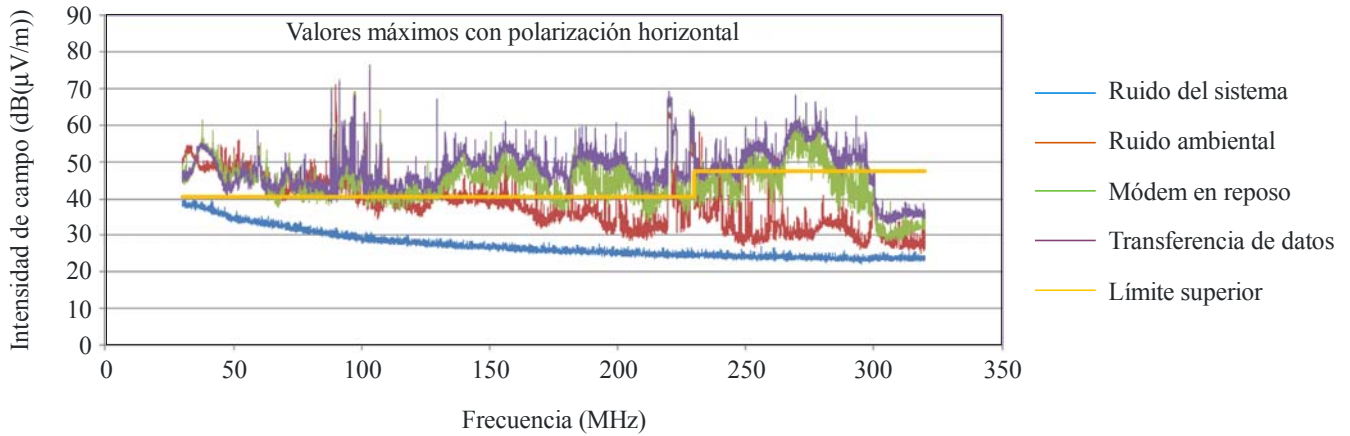
Los límites indicados en el Cuadro 6 de la norma EN 55022⁹ son considerados valores superiores de referencia y se observan en las Figuras siguientes. Los límites indicados son valores casi máximos que, por lo general, son inferiores a los valores máximos pero, en todos los casos, superiores a los valores cuadráticos medios.

⁹ CENELEC EN 55022: 2006; Information technology equipment – Radio interference characteristics – Limits and methods of measurement (CISPR 22: 2005 (modified)) (en inglés y francés únicamente).

A3.1.5 Intensidad de campo con polarización horizontal

FIGURA 24

Valores máximos de la intensidad de campo con polarización horizontal en dB($\mu\text{V}/\text{m}$)



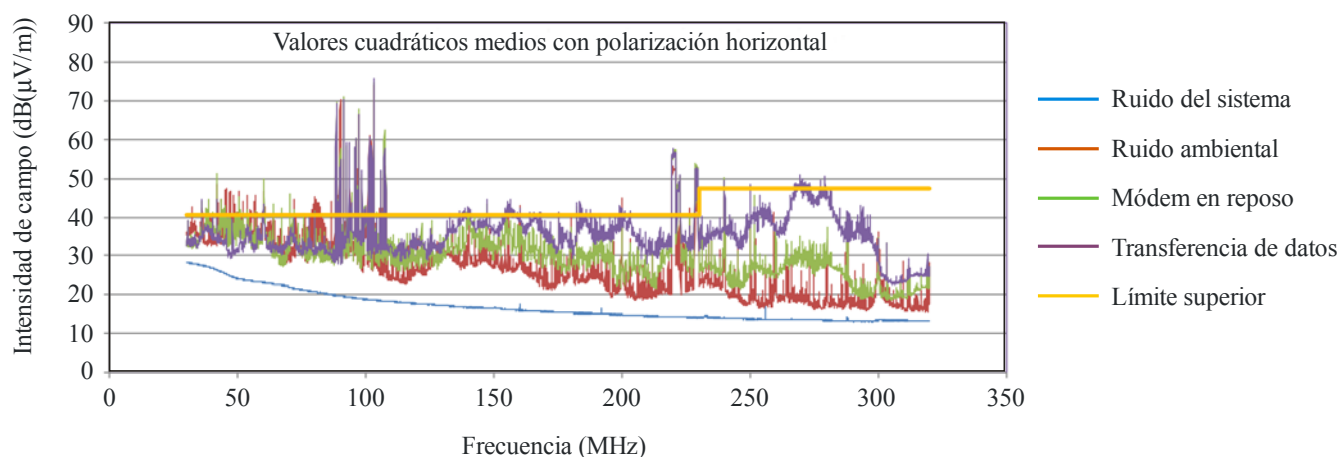
Informe SM.2212-24

En la Fig. 24, el trazado en azul representa la menor intensidad de campo medible que equivale al ruido del sistema de recepción utilizado en la medición, y el trazado en rojo, el ruido ambiental (ruido artificial) en ausencia de los módems. Dado que las mediciones se hicieron en el IRT, en presencia de diversos sistemas eléctricos y electrónicos en funcionamiento, el ruido ambiental es relativamente elevado (trazado en rojo); a frecuencias inferiores a 150 MHz, se sitúa incluso por encima del trazado correspondiente a los valores límite superiores. Los valores máximos de la intensidad de campo en la gama 87,5 y 108 MHz corresponden a las señales FM y los situados en torno a la gama 220 y 229 MHz corresponden a las señales de radiodifusión sonora digital (DAB) que pueden ser recibidas en el IRT.

Como indica el trazado en verde, la intensidad de campo de la interferencia aumenta cuando los módems están encendidos. Durante la transferencia de datos, sigue aumentando (trazado en violeta). Por encima de 130 MHz, el nivel de la intensidad de campo de la interferencia causada por los módems es unos dB superiores al ruido ambiental, lo cual indica que los valores medidos son correctos. Los valores máximos de la interferencia causada por el módem durante la transferencia de datos y en modo reposo son superiores a los valores límite en aproximadamente 20 dB, como máximo.

FIGURA 25

Valores cuadráticos medios (r.m.s.) de la intensidad de campo con polarización horizontal (dB(μ V/m))



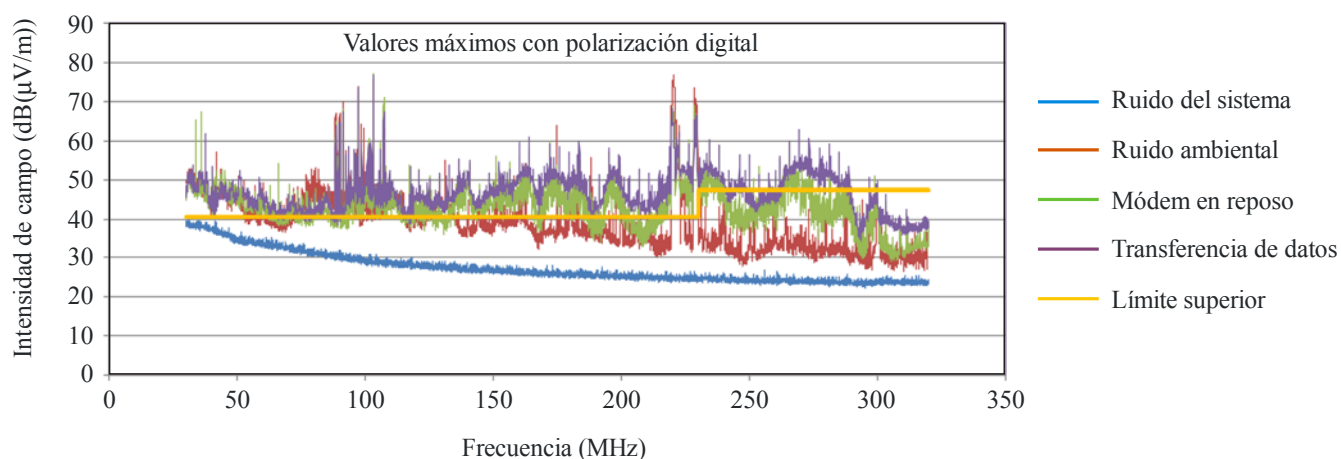
Informe SM.2212-25

En la Fig. 25, con respecto a la interferencia permanente, como el ruido de sistema del receptor de prueba (en azul) y la interferencia causada por los módems en funcionamiento (en violeta), los valores cuadráticos medios son aproximadamente 10 dB inferiores a los valores máximos correspondientes. La interferencia de los módems en reposo es impulsiva, lo cual explica por qué ha aumentado la diferencia entre los valores máximos y los valores cuadráticos medios (en verde). Los valores cuadráticos medios de la interferencia de los módems durante la transferencia de datos también están en parte por encima del límite.

A3.1.6 Intensidad de campo con polarización vertical

FIGURA 26

Valores máximos de la intensidad de campo con polarización vertical en dB(μ V/m))

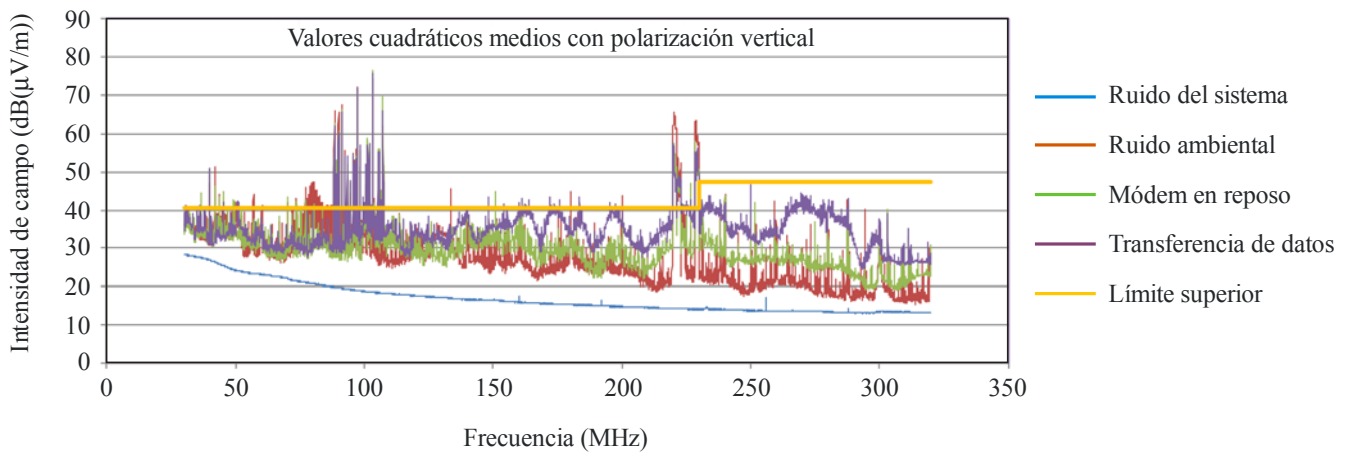


Informe SM.2212-26

Los comentarios relativos a la Fig. 24 también se aplican a los valores de intensidad de campo indicados en la Fig. 26. Las señales DAB a 220 y 229 MHz son más intensas porque se transmiten con polarización vertical. Durante la transferencia de datos y en modo reposo, los valores máximos de la interferencia causada por el módem son superiores a los valores límite en toda la gama de frecuencias.

FIGURA 27

Valores cuadráticos medios (r.m.s.) de la intensidad de campo con polarización vertical ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$)



Informe SM.2212-27

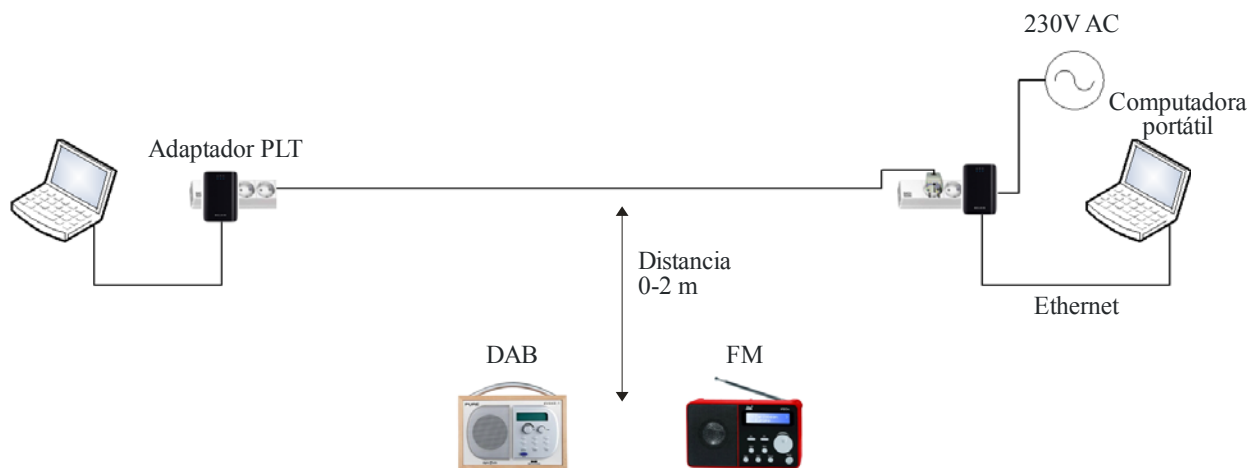
Los comentarios formulados con respecto a la Fig. 25 también se aplican a la Fig. 27. Los valores cuadráticos medios de la interferencia causada por el módem durante la transferencia de datos alcanzan los límites en la gama de frecuencias 30-200 MHz y los valores casi máximos son superiores a ese límite cualquiera sea la velocidad.

A3.1.7 Interferencia real de la recepción FM y la recepción DAB

Para evaluar si las partes medidas del espectro de los adaptadores compatibles con la norma mediastream inciden en la recepción FM y/o DAB, se efectuó en el IRT una configuración de prueba simple en un ambiente de trabajo «normal» equivalente al de la recepción en una casa o apartamento privado (ver Fig. 28).

FIGURA 28

Configuración utilizada para medir la interferencia real de la recepción FM y la recepción DAB



Informe SM.2212-28

Cada adaptador Belkin de tipo F5D4076 se conectó a un enchufe múltiple con toma a tierra. El cable de alimentación de uno de los enchufes, de una longitud de 3 m, se extendió a la altura de la mesa, a lo largo de una pared lateral. Se colocaron en la mesa, frente al cable, una radio FM (DNT) y una radio DAB (PURE). Durante las mediciones, los aparatos de radio se colocaron a distintas distancias del cable, entre 0 y 2 m, con el fin de analizar las interferencias en diferentes configuraciones.

En cada etapa, la radio FM y seguidamente la radio DAB se colocaron en «volumen fuerte», en tanto que el flujo de datos generado con el *software* IxChariot (250 Mbit/s) se activaba y desactivaba repetidamente a través de la línea de alimentación.

Los dos aparatos se colocaron cerca (aproximadamente a 1 m) de una gran ventana para obtener una «buena» recepción.

Resultados de la prueba FM

Si la radio estaba sintonizada a una estación local de gran potencia (Bayern3, Bayern5, banda II 100 MHz), no se podían detectar interferencias subjetivas durante el periodo de actividad de los adaptadores PLT. En cambio, cuando se sintonizaba una estación de baja potencia (Ö3), se detectaba claramente un ruido aditivo procedente de los altavoces durante el periodo de actividad de los adaptadores PLT hasta una distancia de aproximadamente 1 m entre el aparato de radio y el cable eléctrico equilibrado. A mayores distancias, ninguna interferencia era audible.

Resultados de la prueba DAB

Las interferencias audibles durante la recepción DAB (por ejemplo, Bayern3, banda III 220 MHz) eran mucho más importantes. Durante el periodo de actividad de los adaptadores PLT, esas interferencias estaban presentes incluso en estaciones que presentaban buenas condiciones de recepción, hasta una distancia de hasta 1,5 m entre el aparato de radio y el cable de transmisión de datos. Varios tipos de interferencia eran audibles: crepitaciones, chisporroteos, incluso la interrupción «completa» de la señal audio.

Esas interferencias desaparecían únicamente a distancias superiores a 1,5 m.

A3.1.8 Conclusiones relativas a las mediciones efectuadas en el IRT

Las mediciones del espectro realizadas en adaptadores PLT «Power line Gigabit» F5D4076 S de Belkin muestran, por un lado, la ocupación de frecuencias hasta 305 MHz, que comprende las bandas FM y DAB. Por el otro, las mediciones indican que las interferencias causadas por los módems son más elevadas que las autorizadas por la norma EN 55022 en la gama de frecuencias 30-300 MHz.

Conviene recordar que estas pruebas se realizaron con un cable eléctrico relativamente simétrico, por lo cual los resultados no son representativos del caso más desfavorable.

Se podría considerar la posibilidad de utilizar el ranurado de frecuencias en las bandas de frecuencias afectadas. El fabricante del juego de chips mediastream, Gige, ya ha propuesto adoptar esas medidas para responder a posibles reacciones que estarían justificadas.

A3.2 Mediciones de módems PLT realizadas por el Centro de Investigación de las Comunicaciones (Canadá)

El Centro de Investigación de las Comunicaciones (*CRC, Communications Research Centre, Canadá*) ha evaluado ocho dispositivos PLT de fácil acceso en los mercados de Estados Unidos, Canadá y Japón, que representan las diferentes normas PLT. El detalle y los resultados de las mediciones realizadas durante esas pruebas figuran en el Informe *Measurements of EM radiation from in-house Power line Telecommunication (PLT) devices operating in a residential environment – Field Test Report* (Medidas de la radiación electromagnética procedente de dispositivos PLT en interiores que funcionan en un entorno residencial, Informe de pruebas de campo), Centro de Investigación de las Comunicaciones (Canadá), 24 de marzo de 2009, disponible en:

<http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf> o como texto adjunto en el Anexo al Documento [6A/160](#).

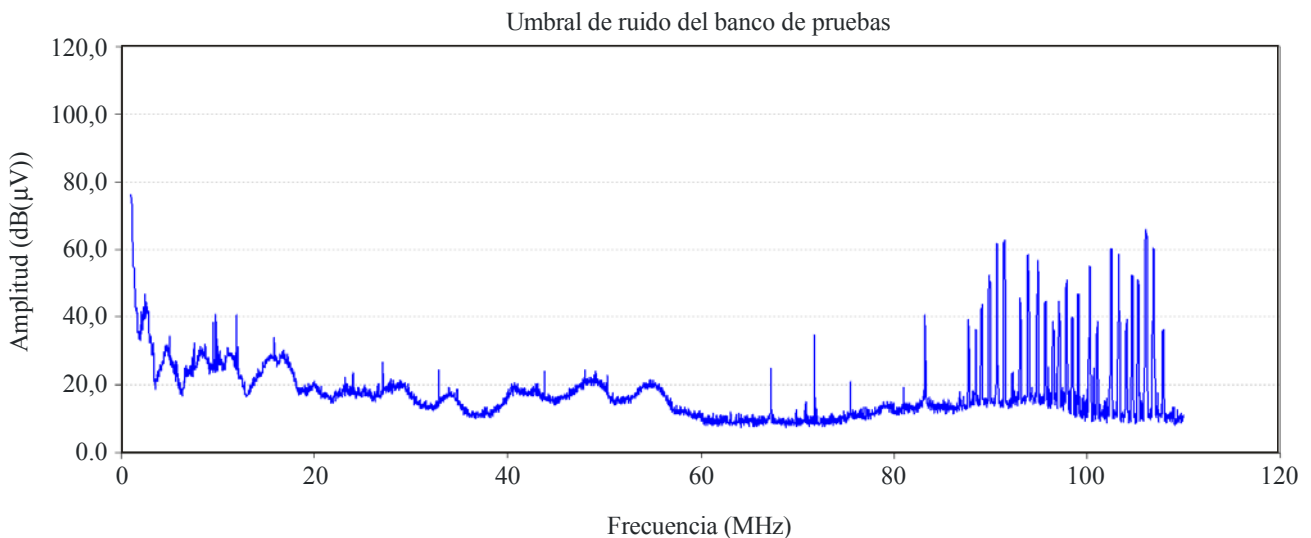
Puede consultarse un resumen de este estudio en el Informe UIT-R SM.2158. Las pruebas incluyeron mediciones a frecuencias de hasta 110 MHz con el fin de determinar la incidencia de los dispositivos PLT en la banda FM.

A3.2.1 Procedimiento adoptado por el CRC para las mediciones y resultados relativos a emisiones transmitidas por conducción

La medición del umbral de ruido del banco de pruebas entre 50 kHz y 110 MHz se presenta en la Fig. 29. Se observa en ella que las líneas eléctricas en la configuración de la prueba se comportan como una antena que capta las señales de otros sistemas de radiocomunicaciones. Las crestas situadas entre 85 y 108 MHz provienen de estaciones de radio FM locales. Las demás crestas, a otras frecuencias, fueron intermitentes y causadas probablemente por otros sistemas de radiocomunicaciones. Hubo que tenerlo en cuenta cuando se examinaron los resultados relativos a las emisiones transmitidas por conducción.

FIGURA 29

Umbral de ruido del banco de pruebas utilizado para la medición de señales transmitidas por conducción



Informe SM.2212-29

Los resultados obtenidos por los dispositivos PLT 2, 3 y 6 se indican en las Figs. 30, 31 y 32, respectivamente. El trazado en azul corresponde a la señal transmitida por conducción durante una transferencia de datos y el trazado en verde (por lo general, el trazado inferior), a la señal transmitida por conducción en modo reposo. Como se observa en las Figuras, el nivel de señal en modo reposo no supera el nivel de señal en modo transferencia de datos. Por otra parte, los dispositivos puestos a prueba no funcionan de forma idéntica en modo reposo. Los dispositivos PLT 2 y 3 transmiten esporádicamente portadoras para mantener el canal abierto y sincronizado, en tanto que el dispositivo 6 transmite constantemente en toda su anchura de banda.

FIGURA 30

Potencia transmitida por conducción por el dispositivo 2 (norma HD-PLC)

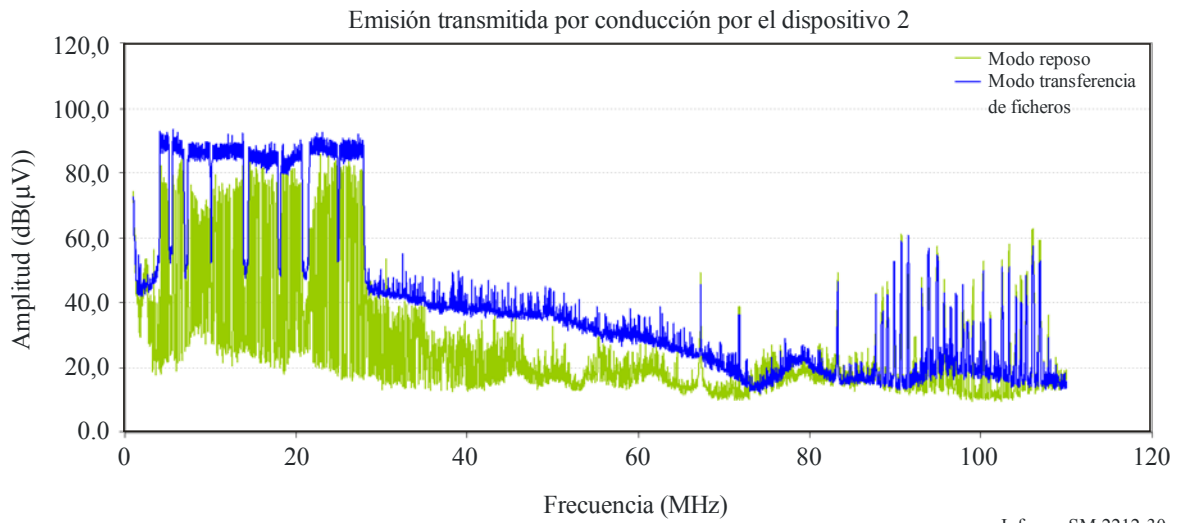


FIGURA 31

Potencia transmitida por conducción por el dispositivo 3 (norma Homeplug AV)

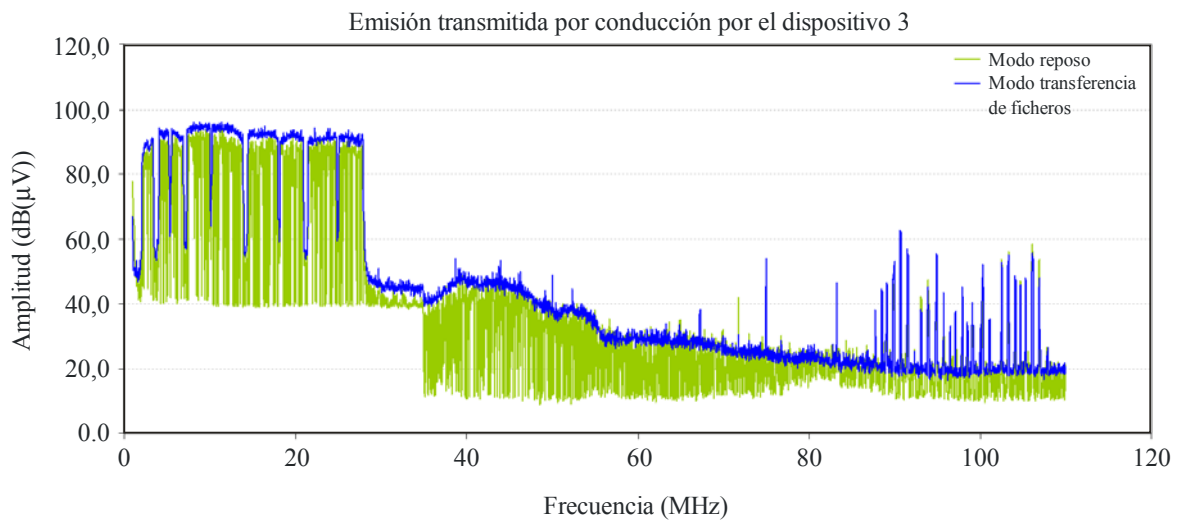
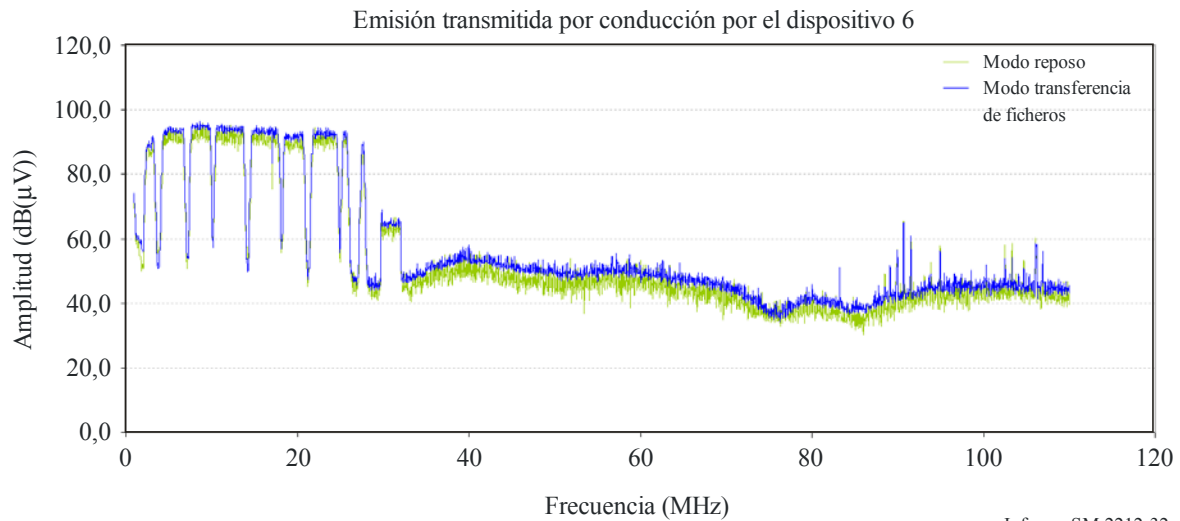


FIGURA 32

Potencia transmitida por conducción por el dispositivo 6 (norma UPA)**A3.2.2 Conclusiones relativas a las mediciones efectuadas en el CRC**

Estos resultados indican que, incluso cuando no transmite datos, el dispositivo PLT emite radiaciones. También se observa que, incluso si el dispositivo PLT funciona en frecuencias inferiores a 30 MHz, produce radiaciones hasta 110 MHz, que son superiores por lo menos en 20 dB al umbral de ruido.

A3.3 Mediciones de módems PLT «Gigabit» realizadas por CBS Broadcasting and National Public Radio

CBS Broadcasting and National Public Radio (NPR) ha realizado una serie de mediciones en los laboratorios NPR Labs similares a las efectuadas por el IRT (ver § A3.1). Las mediciones de radiaciones transmitidas por conducción se efectuaron en un par de módems PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin.

A3.3.1 Procedimiento de medición

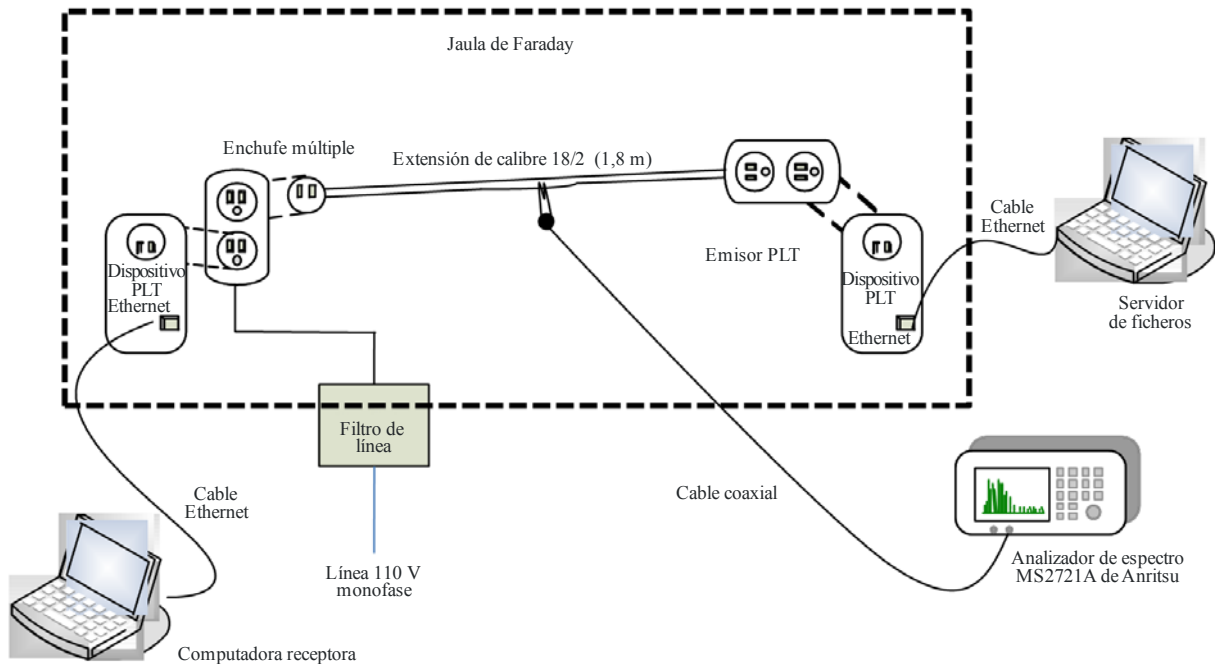
Dos adaptadores módem PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2A de Belkin fueron conectados por una extensión a dos conectores de 1,8 m y colocados en una jaula de Faraday, como se observa en la Fig. 33. La jaula de Faraday contiene un filtro de línea de alimentación en corriente alterna (c.a.) y conexiones coaxiales en radiofrecuencias. Los adaptadores PLT fueron conectados a una computadora y a un servidor a través de un encaminador Ethernet. Las transferencias de ficheros hacia la computadora se iniciaron a partir del servidor.

Se utilizó un analizador de espectro MS2721A de Anritsu para registrar el espectro de frecuencias. El analizador se configuró como se indica a continuación (salvo indicación contraria):

- Anchura de banda de resolución (RBW): 1 MHz.
- Número de etapas de medición: 551/barrido.
- Sin preamplificador.
- Atenuación: 0 dB.
- Detector de medición: valores máximos.
- Trazado: «Max hold» (memorización de valores máximos).

El acoplamiento entre el conductor cargado del cable eléctrico y el analizador de espectro se efectuó mediante un bucle doble. Se presentan a continuación los resultados de la medición de la potencia de la señal en función de la frecuencia, realizada con el analizador de espectro.

FIGURA 33
Configuración de medición utilizando una jaula de Faraday



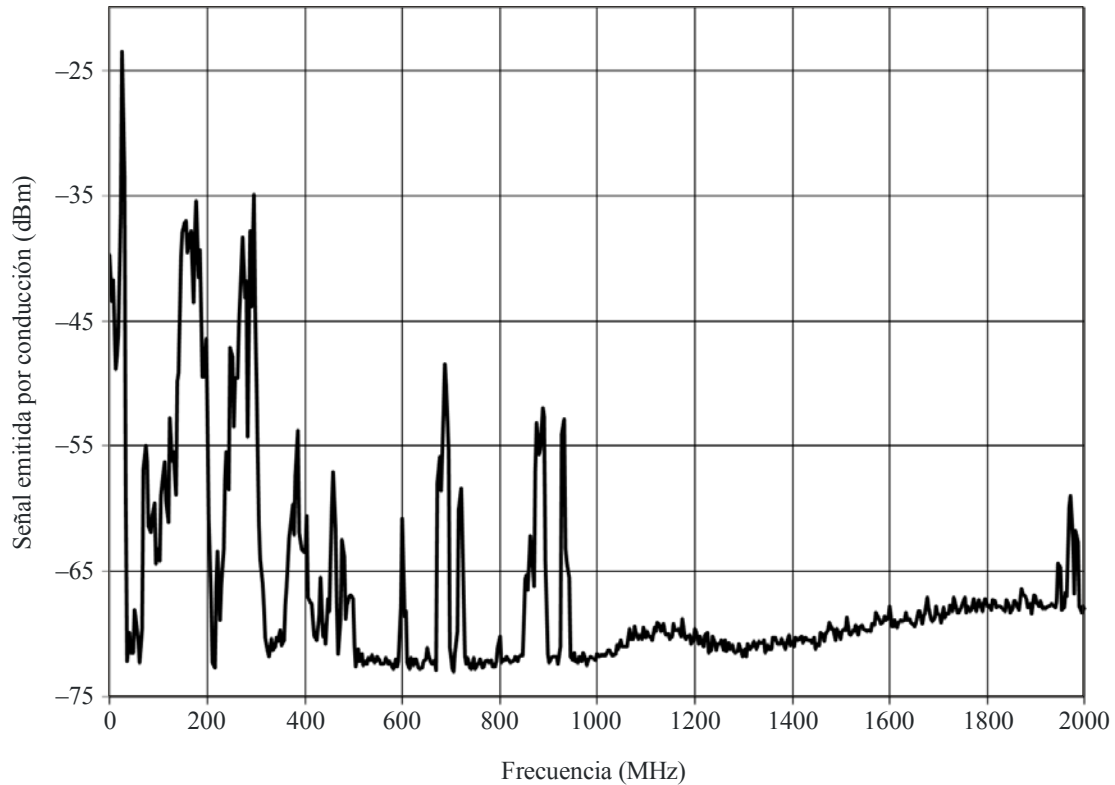
Informe SM.2212-33

A3.3.2 Resultados de la medición de radiaciones por conducción emitidas por el módem PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin

En la Fig. 34 se presentan las señales transportadas por el cable eléctrico que conecta los dos módems PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin en modo reposo (sin transferencia de datos). Se observa en los adaptadores un nivel de salida sustancial hasta 300 MHz, conforme a las medidas efectuadas por el IRT. Sin embargo, las radiaciones emitidas superan los 300 MHz y llegan hasta 930 MHz. Se observa también una señal suplementaria a 1 970 MHz.

FIGURA 34

**Radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT
«Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin**
Las radiaciones se producen hasta 1 GHz y hasta 1,9 GHz
(anchura de banda de resolución: 3 MHz, nivel de referencia: -30 dBm)

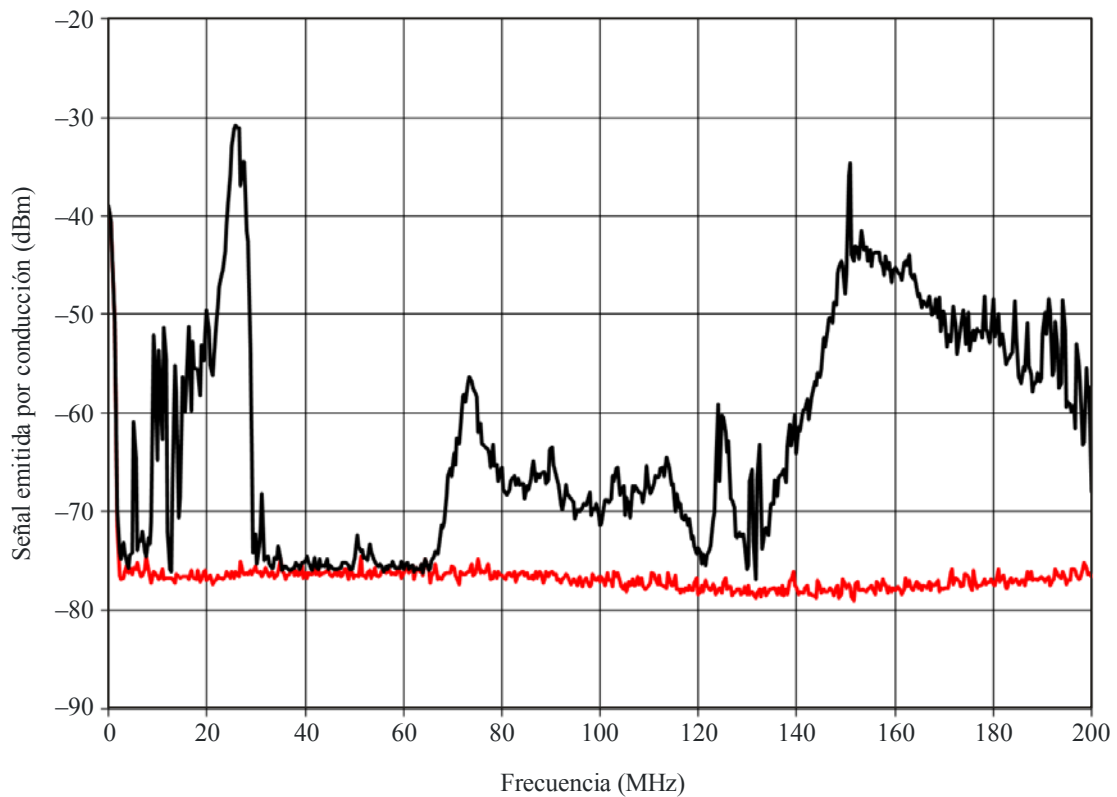


Informe SM.2212-34

En la Fig. 35 se observan las radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin en modo reposo (sin transferencia de datos) hasta 200 MHz. El trazado superior (en negro) es comparado con el umbral de ruido de la jaula de Faraday (trazado inferior en rojo). Se puede observar que los módems PLT emiten radiaciones sustanciales hasta 27 MHz y luego, nuevamente, por encima de 70 MHz.

FIGURA 35

Radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin en la gama de frecuencias 0-200 MHz. El trazado superior (en negro) corresponde a la radiación de los módems en reposo (sin transferencia de datos); el trazado inferior (en rojo) corresponde al umbral de ruido de la jaula de Faraday

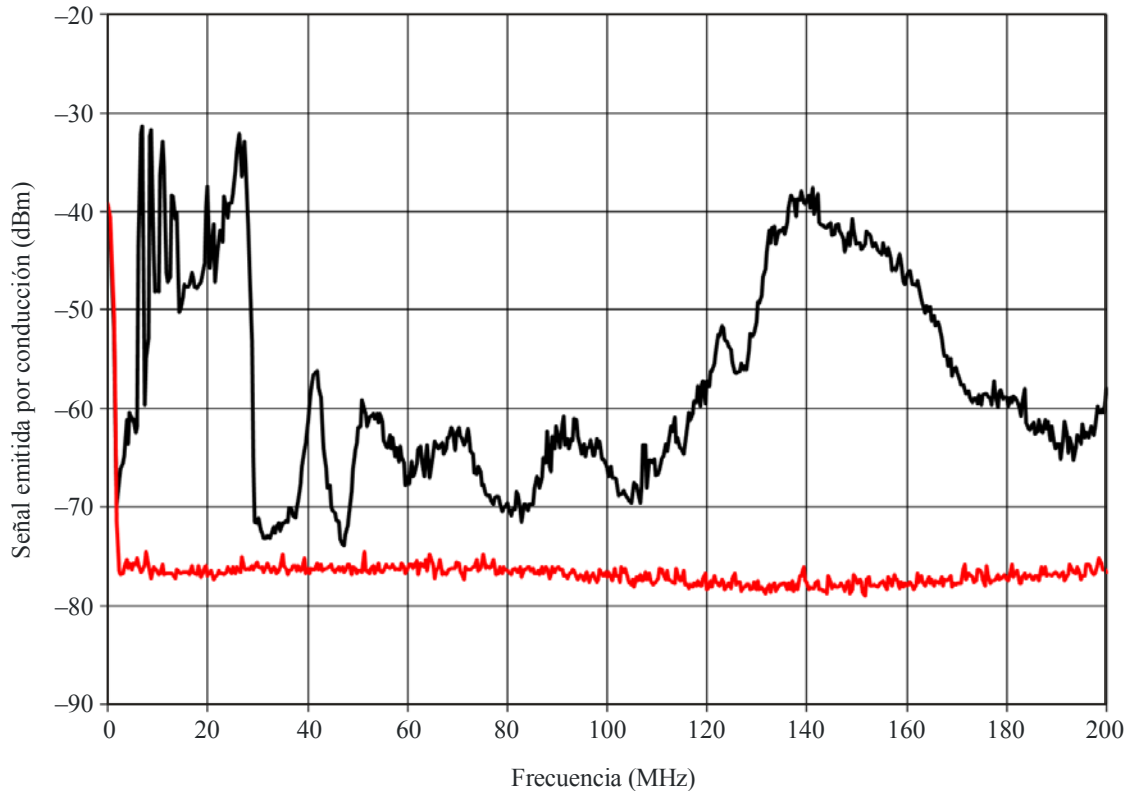


Informe SM.2212-35

En la Fig. 36 se observan las radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin en actividad (con transferencia de datos) hasta 200 MHz. El trazado superior (en negro) es comparado con el umbral de ruido de la jaula de Faraday (trazado inferior en rojo). Se puede observar que los módems PLT emiten radiaciones adicionales entre 27 MHz y 70 MHz.

FIGURA 36

Radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT «Gigabit power line HD» modelo F5D4076-S v2 de Belkin en la gama de frecuencias 0-200 MHz. El trazado superior (en negro) corresponde a la radiación de los módems en actividad (con transferencia de datos); el trazado inferior (en rojo) corresponde al umbral de ruido de la jaula de Faraday



Informe SM.2212-36

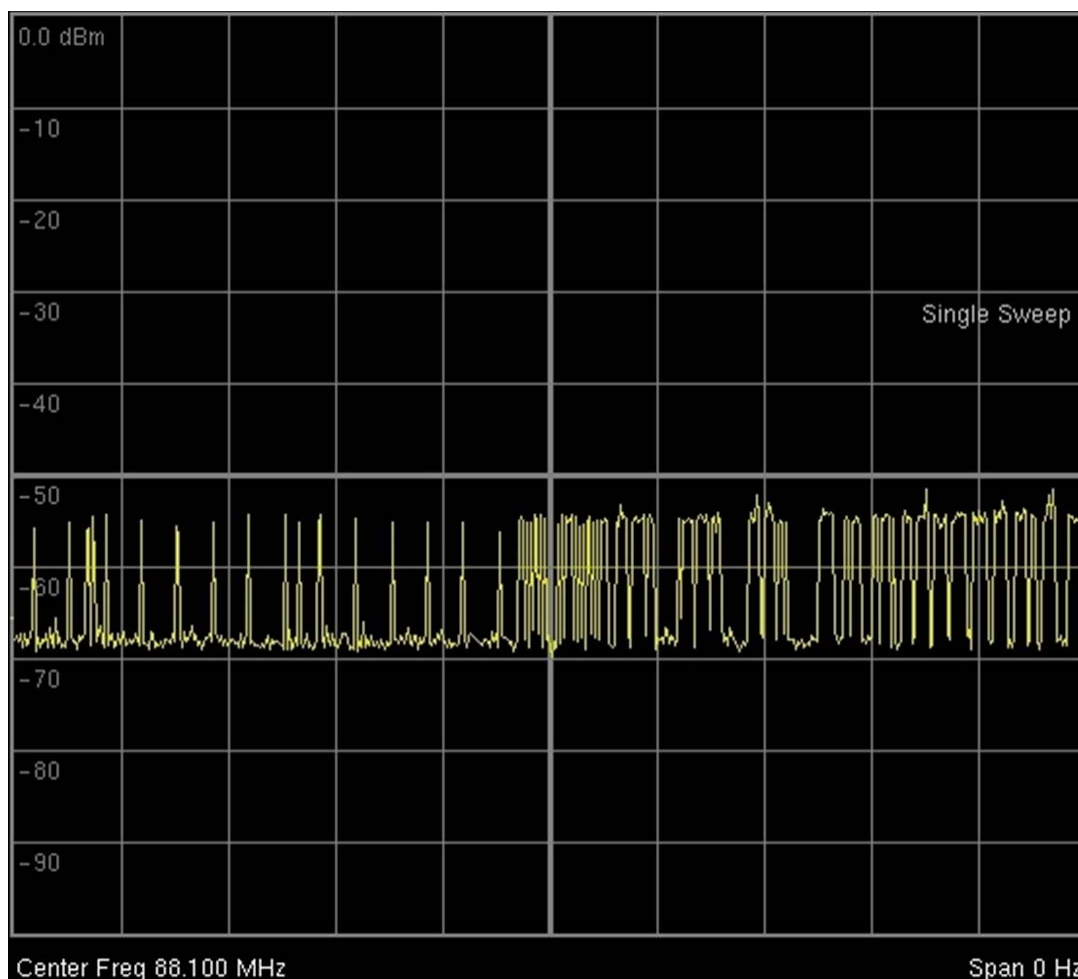
A3.3.3 Interferencia del receptor FM causada por el módem PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin

Como los resultados indicaron con claridad que los módems PLT emitirán radiaciones a frecuencias notablemente superiores a 27 MHz, se llevó a cabo una prueba utilizando un receptor de radio FM de tipo «boombox» de Sony ubicado cerca de los módems. En la Fig. 37 se observan las radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin a una sola frecuencia, 88,1 MHz. La imagen muestra un solo barrido del analizador de espectro en el momento en que los módems pasan del estado en reposo al estado activo.

La interferencia causada por el dispositivo PLT en el receptor FM adopta la forma de una salida audio desagradable e inaceptable del tipo «barco a motor». La velocidad de los impulsos en modo reposo (a la izquierda de la imagen) es de aproximadamente 40 impulsos por segundo, que aumentan durante la transferencia de datos (a la derecha de la imagen).

FIGURA 37

Radiaciones por conducción emitidas por un par de módems PLT «Gigabit power line HD» modelo F5D4076-S v2 de Belkin en la frecuencia 88,1 MHz en la banda de radiodifusión FM durante un intervalo de 1 segundo. La interferencia adopta la forma de una salida audio del tipo «barco a motor»



Informe SM.2212-37

A3.3.4 Conclusiones relativas a las mediciones efectuadas por CBS/NPR

La serie de medidas realizadas por CBS Broadcasting and National Public Radio (NPR) en los laboratorios NPR Labs confirma los resultados obtenidos por el IRT. Se observa con claridad que el módem PLT «Gigabit power line HD» F5D4076-S v2 de Belkin emite radiaciones en el conjunto de frecuencias radioeléctricas inferiores a 1 000 MHz. Por otra parte, la Asociación de Organismos de Radiodifusión de América del Norte (NABA, *North American Broadcasters Association*) estima que la Recomendación UIT-T G.9960 no ofrece protección a los servicios de radiocomunicaciones contra las interferencias causadas por esas radiaciones.

A3.4 Mediciones de las radiaciones procedentes de redes PLT efectuadas por la BBC

A3.4.1 Introducción

La BBC ha llevado a cabo la medición de radiaciones procedentes de redes PLT en una jaula de Faraday y en dos viviendas¹⁰, analizando seguidamente la incidencia de esas radiaciones en la cobertura de radiodifusión a partir de previsiones y mediciones de la intensidad de campo proporcionadas por BBC Distribution. En este estudio, las mediciones realizadas en las dos viviendas fueron respaldadas por la verificación de las pruebas de procedimiento y calibración llevadas a cabo en laboratorio. El Libro Blanco de la BBC facilita una información completa sobre el procedimiento y los resultados de las pruebas realizadas.

Como las pruebas de recepción sólo se realizaron en dos viviendas, es difícil extrapolar con precisión los resultados. Con todo, teniendo en cuenta que la interferencia se detectó en condiciones que *no* corresponden a un límite de cobertura (de hecho, el margen era bastante amplio), resulta evidente que si esos módems PLT se utilizaran a gran escala, la recepción de transmisiones FM y DAB se degradaría en un número sumamente importante de viviendas. En los § 7 y 8 del Libro Blanco de la BBC¹⁰ se puede hallar una primera evaluación de la incidencia de las radiaciones en la cobertura de servicios y en la planificación.

Las observaciones y las mediciones que figuran en el presente Informe y en el Libro Blanco de la BBC ponen de relieve los efectos perjudiciales de las PLT en la recepción de radiodifusión en ondas métricas que, con toda probabilidad, tiene lugar en el entorno doméstico corriente. Se observó no obstante que esos efectos varían considerablemente según la ubicación del receptor en la vivienda, la intensidad de campo de las diversas señales disponibles para el estudio y otros factores. En ciertos casos, no se detectó ninguna interferencia importante, lo cual indica que no todas las viviendas serán afectadas y que eso depende de la combinación receptor-habitación-emisor particular de cada oyente. Sería conveniente realizar nuevos estudios para determinar con mayor precisión el grado de variabilidad y, de esa manera, evaluar mejor la incidencia de las PLT en la cobertura mundial de la radiodifusión en ondas métricas.

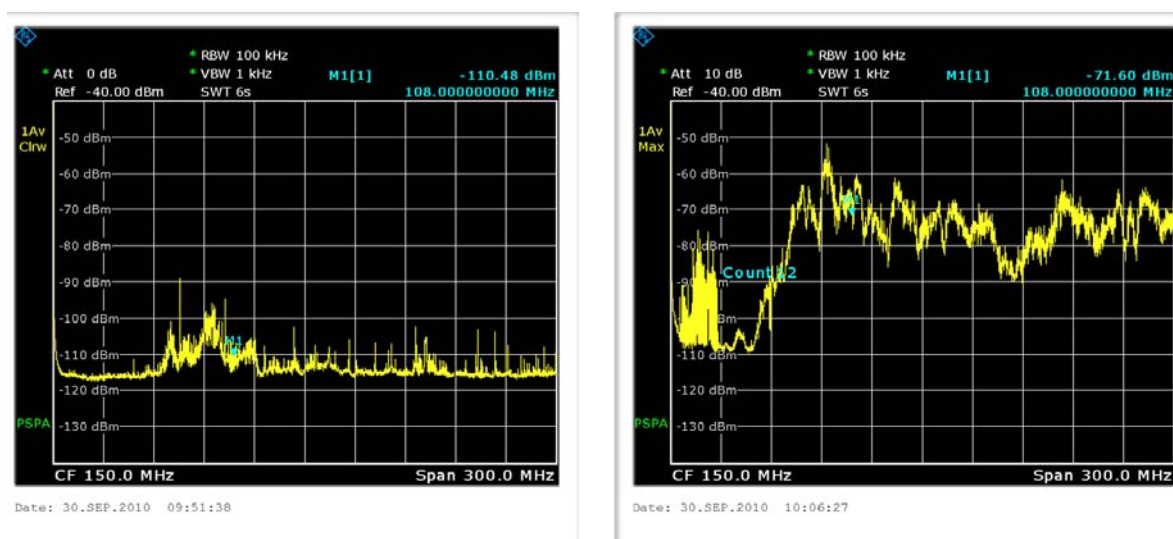
A3.4.2 Mediciones realizadas en la jaula de Faraday

En la Fig. 38 se observan las mediciones de radiación realizadas en la jaula de Faraday entre 0 y 300 MHz, sin y con la activación de la red PLT (a la izquierda y a la derecha, respectivamente) y el transporte de datos.

¹⁰ Mark Waddell (BBC R&D) & Jonathan Stott (Jonathan Stott Consulting), *BBC Research White Paper WHP 195 – VHF emissions from PLT devices: First investigation of potential interference to broadcast reception.*

FIGURA 38

Radiaciones procedentes de una red PLT puesta a prueba y medidas en una jaula de Faraday



Informe SM.2212-38

En el trazado de la imagen a la izquierda de la Fig. 38 se observa el espectro de la señal de antena cuando los dispositivos PLT están desactivados y en el de la imagen a la derecha, los efectos producidos por la activación de la red PLT y el transporte de datos por esa red. Puede observarse además que cuando la red PLT está *inactiva*, el umbral de ruido no es totalmente plano y presenta radiaciones, especialmente entre 60 y 120 MHz; se considera que esas señales proceden del propio analizador de espectro¹¹ puesto que, durante la medición, todos los otros aparatos situados en la jaula de Faraday estaban apagados. Sin embargo, el trazado de la imagen a la derecha indica que las radiaciones procedentes de los dispositivos PLT eran suficientemente potentes y no daban lugar a confusión. En realidad, eran entre 30 y 40 dB superiores al umbral de ruido (trazado de la imagen a la izquierda) y hubo que aplicar en el analizador de espectro una atenuación de 10 dB para evitar la sobrecarga (trazado de la imagen a la derecha); sólo puede constatarse que, por consiguiente, el umbral de ruido del analizador ha aumentado, por ejemplo en torno a 45 MHz.

Se pueden observar en particular radiaciones de gran potencia en la gama de ondas métricas, entre 50 y 300 MHz, que proceden del transporte de datos por la red, en este caso con una transferencia de ficheros por FTP a unos 12 Mbit/s. A modo de ejemplo, una vez que se aplica el factor de corrección relativo a la calibración de la antena, el nivel de las radiaciones a 90 MHz es de unos 47 dB(μ V/m) en una anchura de banda de 100 kHz. En ausencia de radiaciones PLT, el analizador presenta un umbral de ruido de -115 dBm en la anchura de banda de su filtro, con una resolución de 100 kHz; este valor corresponde a una densidad de ruido de -165 dBm/Hz, o sea un factor de ruido de 9 dB para el analizador. Cuando la red PLT está activada y transporta datos, la densidad de ruido aumenta en unos 35 dB.

¹¹ Normalmente, la señal en medición será encaminada hacia el exterior de la jaula de Faraday, donde está ubicado el aparato de medición (analizador de espectro, por ejemplo), de tal forma que las radiaciones que éste emite no lleguen a la antena utilizada en la medición. Pero en esta ocasión, por motivos prácticos, el equipo y el operador estaban instalados en el interior de la jaula.

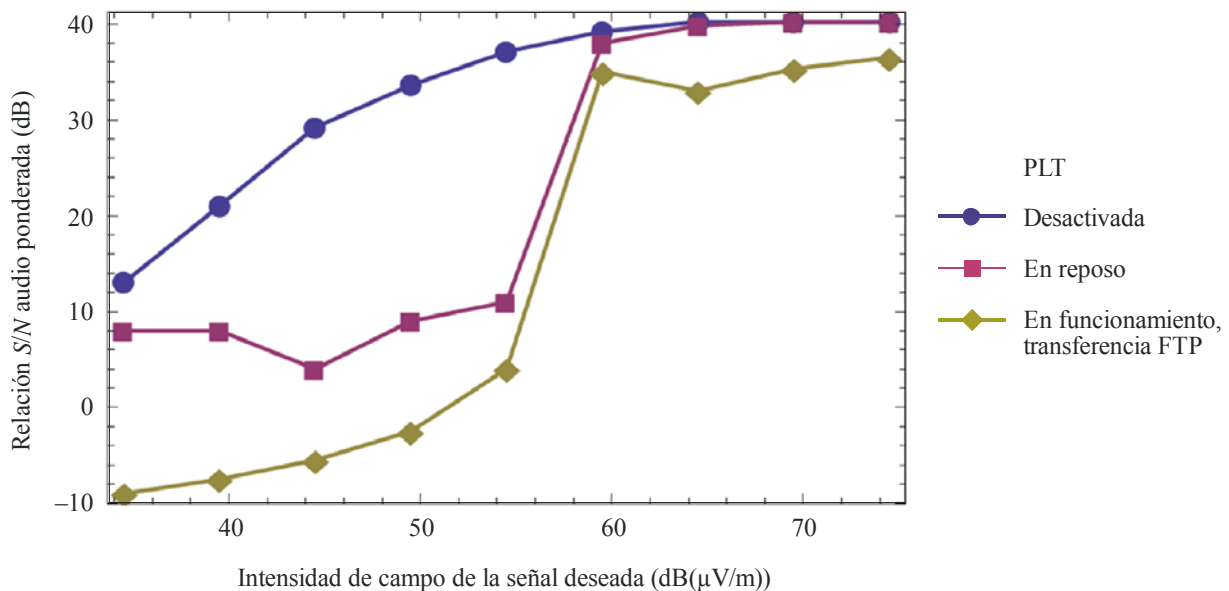
Aunque la red PLT transporta datos en ondas métricas, se observan también radiaciones en la gama de ondas decamétricas, por debajo de 30 MHz¹².

Dado que intensidades de campo interferentes como las indicadas en la Fig. 38 son comparables a las intensidades de la señal deseada para la radiodifusión sonora en ondas métricas, puede preverse que tengan efectos considerables en la recepción.

En la Fig. 39 se observa claramente la fuerte degradación causada por el funcionamiento de la red PLT, a menos que la intensidad de campo de la señal deseada sea muy elevada. Hay una gama de intensidades de campo (aproximadamente entre 35 y 50 dB(μ V/m)) en la cual la relación S/N audio más o menos controla la intensidad de campo en ausencia de sistemas PLT; en esa gama, cuando esos sistemas están activos, se debe aumentar la intensidad de campo de la señal deseada en unos 20 dB para recuperar el valor de la relación S/N .

FIGURA 39

Variación de la relación S/N en función de la intensidad de campo de la señal deseada, con respecto al receptor portátil situado en la jaula de Faraday en diferentes condiciones de funcionamiento de la red PLT



Informe SM.2212-39

¹² Convendría no sacar conclusiones apresuradas con respecto a los niveles relativos de las ondas métricas y decimétricas debido a que la antena utilizada para las mediciones no está concebida para recibir ondas métricas y el factor de calibración (ver Anexo) varía notablemente con la frecuencia. Hay que tener en cuenta también que se ha utilizado el modo «max-hold» (memorización de valores máximos para tratar de captar el espectro independientemente del ciclo de utilización de los dispositivos PLT. Al parecer, los dispositivos PLT puestos a prueba transmitirán datos en ondas métricas y decimétricas, siempre que para estas últimas la capacidad de la conexión lo permita. Con todo, cualquiera sea la banda utilizada, la otra banda queda «en reposo», de forma que el comportamiento del canal en espera de activación siempre puede ser evaluado. Por consiguiente, las radiaciones siempre están presente, a un cierto nivel, en ambas bandas.

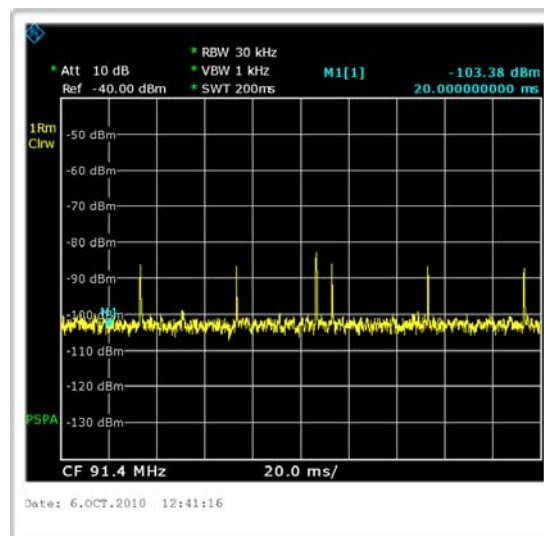
A3.4.3 Mediciones efectuadas en la vivienda A

La vivienda A es una casa semiadosada con buena recepción de señales FM y DAB. Pueden captarse dos estaciones de señales FM de la red de difusión nacional que cumplen las normas de cobertura establecidas por la planificación. La vivienda A ofrece pues la posibilidad de comparar dos modalidades de recepción de señales FM de la red nacional en un solo emplazamiento. Cuando la red PLT puesta a prueba no está en funcionamiento, el receptor portátil capta sin dificultad y de forma satisfactoria, en el interior de la vivienda, las señales emitidas por ambos transmisores.

En la Fig. 40 se observa un trazado en el dominio temporal con una amplitud en frecuencia nula, e interferencias de tipo impulsivo, cuando la red PLT está en reposo

FIGURA 40

Trazado en el dominio temporal con una amplitud en frecuencia nula cuando la red PLT está en reposo

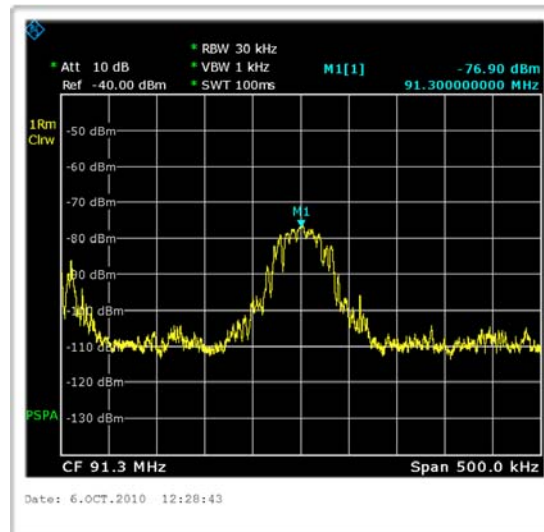


Informe SM.2212-40

La Fig. 41 muestra la recepción en interiores, en ausencia de interferencias PLT, de la señal FM deseada de la estación BBC Radio 3 procedente del transmisor Wrotham. La intensidad de campo corresponde a unos 40 dB(μ V/m).

FIGURA 41

Señal FM de la estación BBC Radio 3 procedente del transmisor Wrotham en ausencia de interferencias PLT

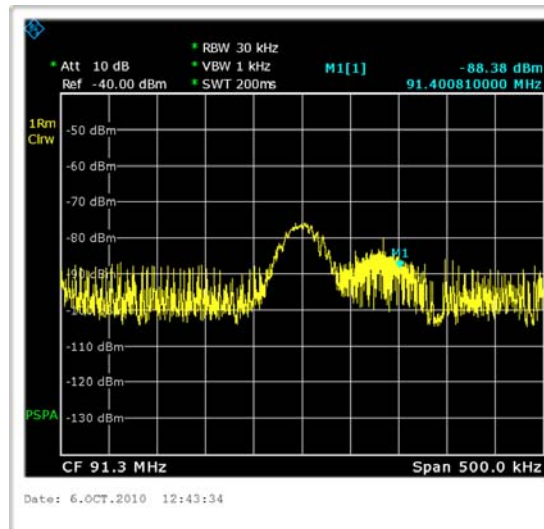


Informe SM.2212-41

En la Fig. 42 se observa el espectro obtenido cuando la red PLT efectúa una transferencia de ficheros. Sin duda, el umbral (ruido + interferencia) aumenta considerablemente.

FIGURA 42

Señal FM de la estación BBC Radio 3 procedente del transmisor Wrotham cuando la red PLT efectúa una transferencia de ficheros



Informe SM.2212-42

En este emplazamiento, no se ha observado ningún efecto real de la actividad de la red PLT en la recepción DAB en interiores.

A3.4.4 Mediciones efectuadas en la vivienda B

La vivienda B es igualmente una vivienda con buena recepción de servicios FM de la red nacional procedentes del transmisor Wrotham y los niveles de las señales cumplen también las normas de cobertura establecidas por la planificación.

La Fig. 43 muestra la recepción FM en interiores cuando la red PLT transporta datos y cuando está en reposo. En comparación con la vivienda A presentada en las Figs. 41 y 42, la intensidad de la señal deseada es superior en unos 11 dB y la de la interferencia, en apenas algunos decibeles. Por lo tanto, la relación señal/interferencia (S/I) ha mejorado. Las perturbaciones audibles son menos marcadas, aunque no dejan de ser molestas. La recepción de la señal de la estación BBC London a 94,9 MHz en el mismo emplazamiento ha tenido una mayor degradación. La intensidad de campo medida en el interior de la vivienda es de aproximadamente 3 dB inferior a la señal FM de BBC Radio 3.

Asimismo, la vivienda B tiene una buena cobertura de la red nacional DAB y de diversos multiplexores «locales». Si se utiliza un receptor portátil a batería, la recepción de las redes nacionales DAB es sumamente fiable en toda la vivienda. Esta afirmación no es puramente subjetiva puesto que los receptores DAB pueden proporcionar una medida objetiva de la calidad de recepción gracias al control de los procesos internos de detección y corrección de errores. Los multiplexores London 1 y 3 son en la práctica perfectamente audibles, en tanto que la recepción de London 2 no es fiable.

En la Fig. 43 hay varios ejemplos de espectros registrados variando la configuración de la red PLT y la ubicación del receptor DAB. Como los dispositivos PLT y las estaciones DAB emiten señales de banda ancha en comparación con la anchura de banda del analizador de espectro utilizado, se puede estimar la relación S/I directamente mediante un examen visual. En particular, la imagen superior izquierda de la Fig. 43 muestra que las señales de London 3 y de dos multiplexadores nacionales se distinguen claramente, mientras que las de los otros multiplexadores locales son relativamente más débiles. La recepción varía notablemente según la ubicación en el interior de la vivienda; en la imagen inferior derecha de la Fig. 43 se observa el aumento de los niveles de la señal para todos los multiplexadores, ligeramente a favor de los que ocupan las frecuencias superiores, así como un ligero aumento relativo de los multiplexadores locales de Londres en relación con los multiplexadores nacionales¹³.

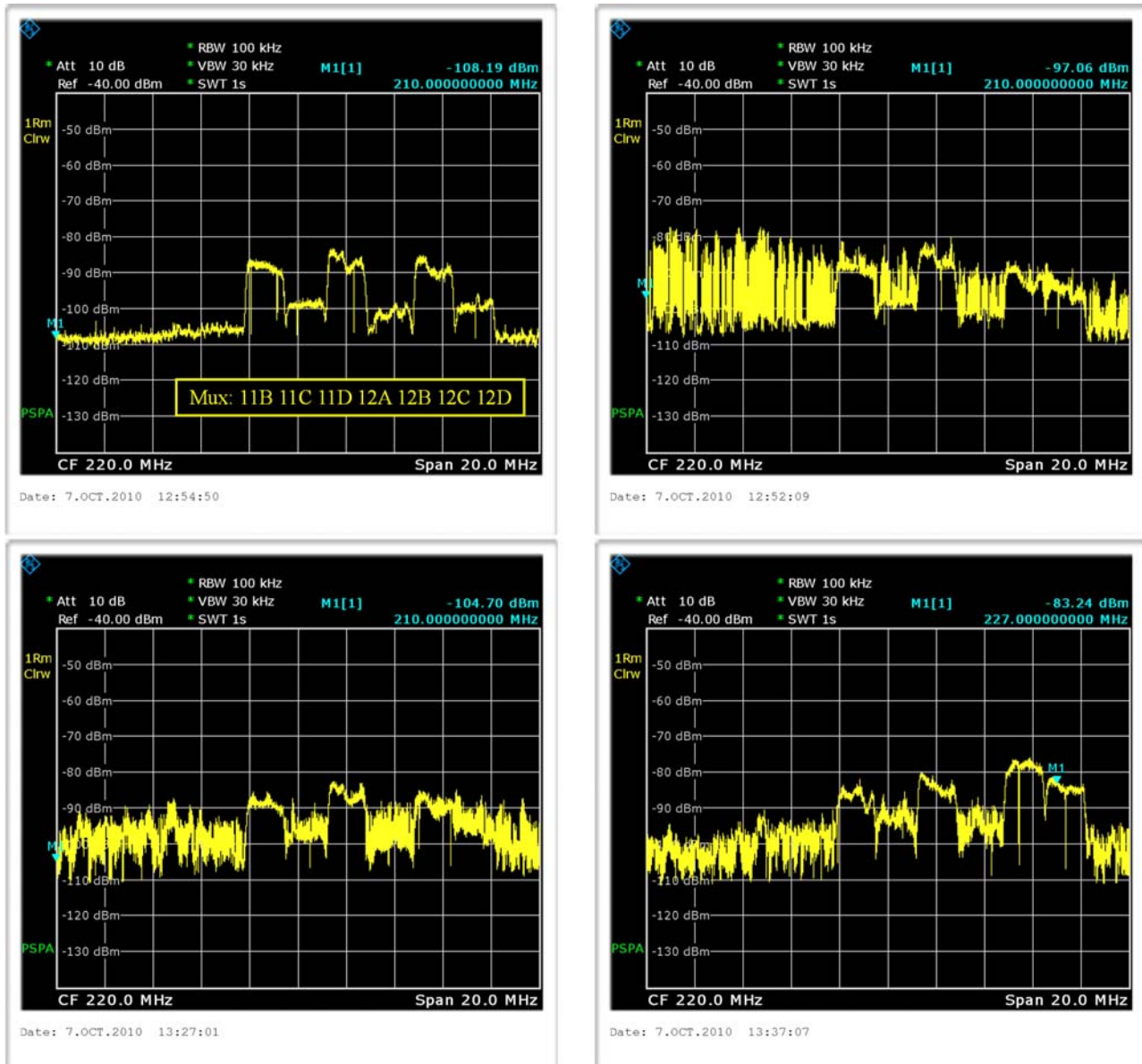
En las imágenes superiores izquierda y derecha de la Fig. 43 se puede observar, para un emplazamiento del receptor, la señal recibida cuando la red PLT está en actividad y cuando está en reposo. Es evidente que en este caso la interferencia excede incluso el nivel de los multiplexores más potentes (los nacionales) y no es sorprendente que, en estas condiciones, fuera imposible su recepción.

En la imagen inferior izquierda de la misma figura, el receptor se ubicó en el mismo lugar, pero la red PLT fue conectada a enchufes de corrientes distintas. En este caso, la relación S/I mejoró ligeramente, pero incluso la recepción de las redes nacionales seguía teniendo importantes degradaciones. La imagen inferior derecha de la Fig. 43 muestra la señal recibida en un emplazamiento distinto pero con la misma configuración de la red PLT que la correspondiente a la imagen inferior izquierda. En este caso, la relación S/I se ha mejorado ligeramente y los multiplexadores más potentes no pueden ser captados completamente.

¹³ Los transmisores de los multiplexadores locales de Londres no están situados en el mismo lugar que los de las redes nacionales; los transmisores más cercanos a cada una de las dos redes (en Crystal Palace para una y en Reigate para la otra) están situados aproximadamente al norte de la vivienda B (dirección a la que apuntan las puertaventanas del salón) pero no tienen exactamente la misma orientación.

FIGURA 43

Espectros de un multiplexador DAB para diferentes combinaciones del emplazamiento del receptor en interiores y de la configuración de la red PLT



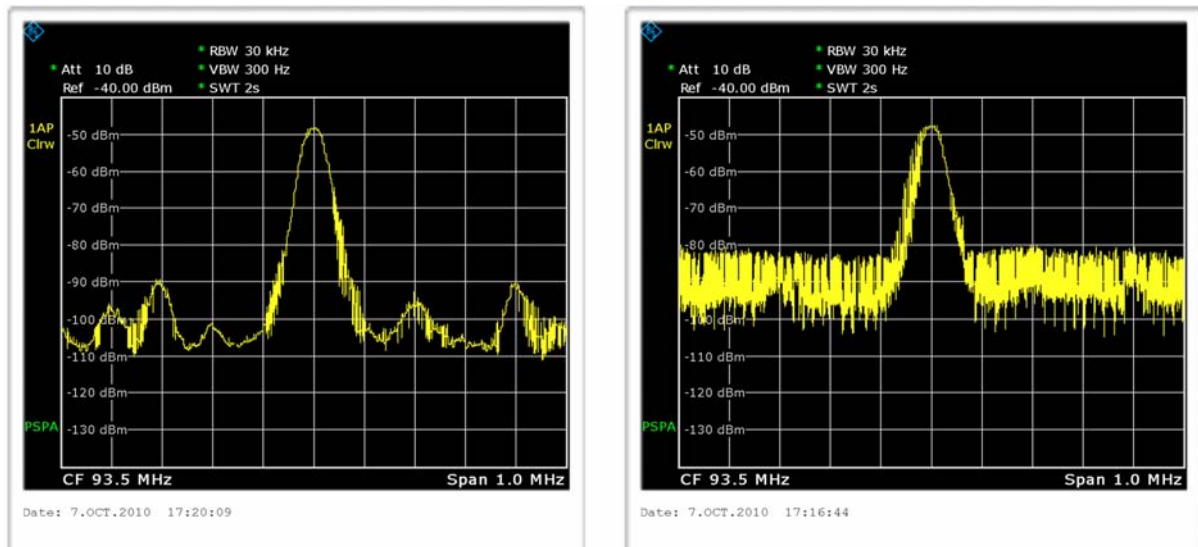
Informe SM.2212-43

La vivienda B dispone también de una antena externa para captar transmisiones FM en banda II, conectada a un amplificador de distribución situado en el desván, lo cual permite repartir las señales de antena en varias habitaciones.

En la Fig. 44 se presentan los espectros de recepción de la BBC Radio 4 FM 93,5 MHz de la red nacional (transmisor Wrotham). En la imagen de la izquierda, la red PLT está desactivada y en la imagen de la derecha, transmite datos. Se observa con claridad la degradación del umbral de ruido causada por la interferencia procedente de los sistemas PLT.

FIGURA 44

Espetros de recepción de la BBC Radio 4 FM (93,5 MHz, transmisor Wrotham) utilizando una antena externa de la vivienda B, cuando la red PLT está desactivada (a la izquierda) y cuando transmite datos (a la derecha)



Informe SM.2212-44

Conviene considerar con cuidado el cálculo de las relaciones S/R y S/I a partir de estos resultados. La anchura de banda del analizador de espectro es de 30 kHz y la del receptor FM, notablemente superior. La relación señal/interferencia RF del receptor en presencia de tráfico PLT no es por consiguiente tan buena como parece indicar el trazado de la imagen a la derecha. Además, la interpretación de la relación S/R del receptor a partir del trazado de la imagen a la izquierda es doblemente falsa debido, por una parte, al problema de la anchura de banda y, por la otra, a la presencia, en el analizador de espectro, de un atenuador en circuito cuya finalidad es evitar sobrecargas.

A3.4.5 Conclusiones

En este estudio se presentan mediciones espectrales de las radiaciones emitidas por módems PLT de alta velocidad, comparadas a las señales deseadas procedentes de transmisores FM en banda II y de transmisores DAB en banda III. Estas mediciones han sido realizadas en dos viviendas representativas y la verificación de las pruebas de procedimiento y calibración se llevó a cabo en laboratorio.

Los resultados indican que las radiaciones emitidas por sistemas PLT son comparables a las intensidades de campo deseadas de recepción utilizadas en los métodos de planificación en vigor. De hecho, la red PLT lleva el umbral de ruido a un nivel tal que zonas que antes tenían una buena cobertura se convierten en zonas de cobertura dudosa. En la práctica, la relación señal/ruido se reduce, acercándose al umbral aceptable, y la calidad audio puede degradarse rápidamente: con apenas una leve variación de ciertos factores, como la ubicación del receptor o las condiciones de propagación troposférica, el sonido, que en un primer momento presentaba perturbaciones, será ininteligible.