

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2158-2
(06/2011)

**Repercusión de los sistemas de
telecomunicaciones por líneas eléctricas
en los sistemas de radiocomunicaciones
que funcionan en las bandas de ondas
kilométricas, hectométricas,
decamétricas y métricas
por debajo de 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, 2011

© UIT 2011

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

INFORME UIT-R SM.2158-2

**Repercusión de los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas
en los sistemas de radiocomunicaciones que funcionan en las bandas de ondas
kilométricas, hectométricas, decamétricas y métricas
por debajo de 80 MHz^{*, **, ***}**

(Cuestión UIT-R 221/1)

(2009-2010-2011)

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Introducción.....	10
1.1 Comunicaciones de datos por líneas de alimentación eléctrica.....	10
2 Elementos fundamentales relacionados con las emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT	11
2.1 Introducción.....	11
2.2 Corriente diferencial y corriente común	12
2.3 Generación de la corriente en modo común	13
2.4 Efecto de antena de dipolo plegado en la derivación del interruptor.....	13
2.5 Apantallamiento efectivo de los muros exteriores de una casa	14
2.6 Fuga desde la línea de alimentación eléctrica dentro del inmueble hacia los hilos de servicio fuera del inmueble	14
3 Características de los sistemas de radiocomunicaciones, criterios de protección y repercusión de los sistemas PLT en los sistemas de radiocomunicaciones.....	14
3.1 Radiodifusión.....	14
3.1.1 Características generales de la radiodifusión analógica en las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.....	14
3.1.1.1 Anchura de banda	14
3.1.1.2 Ruido del receptor	14
3.1.1.3 Intensidad de campo mínima utilizable	15
3.1.1.4 Relaciones de protección	15

* La Administración de Japón se reserva su posición sobre este Informe a la espera de otras contribuciones específicas que se han de presentar a la(s) próxima(s) reunion(es) del Grupo de Trabajo 1A.

** La Administración de la República Árabe Siria se reserva su posición sobre este Informe.

*** Véase también el Informe UIT-R SM.2157.

3.1.2	Características generales de la radiodifusión digital DRM en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.....	16
3.1.2.1	Modos de robustez DRM.....	16
3.1.2.2	Tipos de ocupación del espectro.....	17
3.1.2.3	Modulación y niveles de protección.....	17
3.1.2.4	Ruido del receptor	17
3.1.2.5	Intensidad de campo mínima utilizable.....	17
3.1.2.6	Relación señal/ruido requerida para la recepción DRM....	18
3.1.2.6.1	Relaciones de protección.....	19
3.1.2.6.2	Relaciones de protección cocanal.....	19
3.1.2.6.3	Relaciones de protección en el canal adyacente.....	19
3.1.3	Gamas de frecuencias para la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas, decamétricas y métricas	19
3.1.4	Criterios de protección e interferencia aceptable.....	20
3.1.4.1	Recomendaciones UIT-R BS.1786 y UIT-R BT.1786 – Criterio para evaluar la repercusión de la interferencia causada al servicio de radiodifusión terrenal.....	20
3.1.4.2	Recomendación UIT-R BS.560-4 – Relaciones de protección de radiofrecuencias en la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas	20
3.1.4.3	Recomendación UIT-R BS.703 – Características de los receptores de radiodifusión sonora MA para la planificación	20
3.1.4.4	Informe UIT-R BS.1058 – Relación señal/ruido AF y RF mínima necesaria para la radiodifusión en la banda 7 (ondas decamétricas)	21
3.1.4.5	Anexo 2 a la Recomendación UIT-R BS.1615 – Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz – Relaciones de protección RF para DSB (sistema DRM) en frecuencias inferiores a 30 MHz.....	21
3.1.4.6	Derivación de la gama aceptable del incidente de intensidad de campo procedente de sistemas de telecomunicaciones alámbricos	21
3.1.4.7	Nivel de ruido del receptor y nivel de interferencia aceptable	21
3.1.4.8	Intensidad de campo equivalente del ruido del receptor ...	22
3.1.4.9	Ruido externo	23
3.1.4.9.1	Ruido artificial.....	24
3.1.4.9.2	Comparación entre el ruido artificial y el ruido atmosférico	24
3.1.4.10	Intensidad de campo de interferencia permisible	24
3.1.4.11	Criterios de protección del servicio de radiodifusión	24

3.2	Servicio de aficionados y de aficionados por satélite	26
3.2.1	Características generales	26
3.2.1.1	Características operativas	27
3.2.2	Atribuciones de frecuencias al servicio de aficionados	27
3.2.3	Requisitos de protección del servicio de aficionados en ondas decamétricas	28
3.2.3.1	Margen de desvanecimiento y criterio de protección de 0,5 dB del servicio de aficionados en ondas decamétricas	28
3.2.3.2	Ruido de fondo en las bandas de aficionados	29
3.2.3.3	Niveles de ruido de fondo aceptables	29
3.3	Servicio móvil aeronáutico y servicio de radionavegación	30
3.3.1	Resultados	32
3.4	Criterios generales de protección de los servicios fijo y móvil terrestre en ondas decamétricas	34
3.4.1	Criterios de protección y requisitos de protección	34
3.4.1.1	Criterios de protección	34
3.4.1.2	Requisitos de protección	35
3.4.2	Posibles criterios de protección	35
3.4.3	Sistemas de establecimiento automático de enlace	36
3.5	Servicio móvil marítimo	36
3.5.1	Antecedentes	36
3.5.2	Frecuencias atribuidas a las comunicaciones marítimas	36
3.5.3	Parámetros del receptor para el servicio móvil marítimo en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas	39
3.5.3.1	Receptores NAVTEX – 424, 490 y 518 kHz	39
3.5.3.2	Receptores marítimos en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas	39
3.5.4	Sistemas de navegación hiperbólicos	41
3.5.5	Balizas de radionavegación marítima en las bandas de ondas kilométricas/ hectométricas	41
3.6	Radiolocalización	41
3.6.1	Sistemas radares oceanográficos en las bandas de 3 a 50 MHz	41
3.6.2	Características del sistema	41
3.7	Servicio fijo	43
3.7.1	Características de los sistemas fijos	43
3.7.2	Criterios de protección	43

3.8	Radioastronomía	43
3.9	Servicio de frecuencias patrón y señales horarias	44
4	Posibilidades de prevención o eliminación de la interferencia.....	45
4.1	Factores y métodos de reducción de la interferencia para las comunicaciones por líneas eléctricas.....	45
4.1.1	Atenuación de las señales conducidas	46
4.1.2	Exclusiones de bandas de frecuencias.....	46
4.1.3	Zonas geográficas de exclusión	46
4.1.4	Requisitos de zona de consulta	47
4.1.5	Técnicas de reducción de la interferencia adaptable.....	47
4.1.6	Procedimientos de reclamación por interferencia	48
4.1.7	Base de datos del operador PLT	48
4.2	Estudios sobre las técnicas de reducción de la interferencia	48
4.2.1	Estudio sobre las técnicas de reducción de la interferencia en Brasil..	48
4.2.1.1	Introducción e información general.....	48
4.2.1.2	Configuración de la prueba.....	49
4.2.1.3	Filtros de ranura.....	51
4.2.1.4	Reducción de la potencia.....	51
4.2.1.5	Conclusión	52
4.2.2	Efectos de la intermodulación sobre la profundidad de las ranuras de espectro en los sistemas PLT	52
4.2.2.1	Técnica de medición	52
4.2.2.2	Resultados.....	53
4.2.2.3	Conclusiones.....	56
5	Conclusiones generales	56
Anexo 1	Consideraciones acerca del ruido, la radiación y la propagación.....	56
A1	Consideraciones acerca del ruido, la radiación y la propagación.....	56
A1.1	Nivel de ruido en la banda de ondas decamétricas	56
A1.1.1	El entorno de ruido ambiente	56
A1.1.2	Medición del ruido de fondo ambiente	58
A1.1.3	Determinación del nivel de ruido.....	58
A1.1.3.1	Niveles de ruido térmico, artificial, cósmico y atmosférico	59
A1.1.3.2	Actualización de las mediciones de ruido en Europa	61
A1.2	Mecanismos de propagación.....	63

A1.2.1	Propagación de campo próximo y por onda de superficie	63
A1.2.2	Propagación por onda ionosférica	63
A1.2.3	Ejemplos de cálculos y estudios de propagación	64
Anexo 2 –	Análisis de interferencia posible	65
A2	Análisis de interferencia posible	65
A2.1	Análisis de modelización para el servicio de radioastronomía.....	65
A2.1.1	Utilización de las bandas de ondas decamétricas por parte del SRA...	65
A2.1.2	Distancias de separación entre una antena de radioastronomía y un sistema PLT en la región de ondas decamétricas.....	66
A2.1.2.1	Sistema PLT empleado para el estudio.....	66
A2.1.2.2	Cálculos	67
A2.1.3	Exposición.....	69
A2.1.3.1	Múltiples sistemas PLT	69
A2.1.3.2	Propagación por difracción.....	69
A2.1.3.3	Reducción de las fugas de emisión de los sistemas PLT...	70
A2.1.3.4	Radiación a frecuencias superiores.....	70
A2.1.4	Conclusiones	70
A2.2	Examen de la interferencia causada por los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) al servicio de radiodifusión	71
A2.2.1	Introducción	71
A2.2.2	Efectos de la interferencia en la televisión en la parte inferior de las ondas métricas.....	71
A2.2.3	Efectos de la interferencia en la banda de ondas métricas	75
A2.2.4	Resumen y conclusiones	79
A2.3	Efectos de la interferencia causada por la PLT al servicio de radiodifusión por debajo de 30 MHz.....	79
A2.4	Método de cálculo de la interferencia por onda ionosférica en ondas decamétricas acumulada procedente de los sistemas PLT	79
A2.4.1	Ejemplo de interferencia de onda ionosférica en Winnipeg, Canadá, realizado por la OTAN.....	80
A2.4.1.1	Introducción.....	80
A2.4.1.2	Método de cálculo de la interferencia de onda ionosférica en ondas decamétricas acumulada causada por los sistemas PLT.....	81
A2.4.1.3	Herramienta PLT acumulativa.....	82
A2.4.1.4	Herramienta PLT acumulativa – Instrucciones de uso	83
A2.4.1.5	Cálculo del ruido radioeléctrico en ondas decamétricas procedente de los sistemas PLT.....	86

A continuación se muestra la ejecución de la herramienta PLT acumulativa con MATLAB:.....	87
A2.4.1.6 Ganancia de antena del sistema de líneas eléctricas.....	90
A2.4.1.7 Estimación de la actual penetración de mercado de la PLT.....	90
A2.4.1.8 Conclusiones.....	90
A2.4.2 Estudio de la NTIA sobre la propagación ionosférica y la acumulación de emisiones PLT de acceso.....	91
A2.4.2.1 Introducción.....	91
A2.4.2.2 Modelización analítica de la propagación por onda ionosférica	91
A2.4.2.3 Características de la simulación	98
A2.4.2.4 Resultados de la simulación	101
A2.4.2.5 Mapas de combinación ionosférica	103
A2.4.2.6 Resumen	110
A2.4.3 Resultado del cálculo de la interferencia de onda ionosférica decamétrica acumulada causada por las telecomunicaciones por líneas eléctricas	111
A2.4.3.1 Introducción.....	111
A2.4.3.2 Cálculo del campo de la onda ionosférica PLT acumulada.....	111
A2.4.3.3 Resultados del cálculo	115
A2.4.4 Resultados del estudio de compatibilidad entre las observaciones del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas y la interferencia ionosférica de ondas decamétricas acumulada causada por los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticos.....	120
A2.4.4.1 Introducción.....	120
A2.4.4.2 Resultados del cálculo	120
A2.4.4.3 Posibles medidas de reducción de la interferencia para la protección del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas	120
A2.5 Resultados experimentales de la prueba de evaluación subjetiva de la recepción de radiodifusión analógica en ondas decamétricas con interferencia de PLT	121
A2.5.1 Métodos de prueba	121
A2.5.1.1 Adquisición de las muestras de sonido.....	121
A2.5.1.2 Prueba de evaluación subjetiva.....	124
A2.5.2 Resultados de la prueba.....	126
A2.5.3 Equipo de prueba	128

A2.6	Análisis de compatibilidad entre los requisitos de protección de las radiocomunicaciones móviles aeronáuticas en ondas decamétricas y los dispositivos PLT domésticos	129
A2.6.1	Introducción	129
A2.6.2	Supuestos del estudio	129
A2.6.3	Modelo de compatibilidad/cómputo geométrico	131
A2.6.4	Umbral de evaluación para el servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas.....	132
A2.6.5	Resultados del análisis	133
A2.6.6	Otros determinantes	135
A2.6.7	Requisitos aplicables a los dispositivos PLT para la protección del servicio móvil aeronáutico en ondas decamétricas	135
Anexo 3	Emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT	135
A3	Emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT	135
A3.1	Medición de los niveles RF radiados involuntariamente por la PLT de acceso en las bandas de ondas decamétricas	135
A3.1.1	Introducción	135
A3.1.2	Objetivo.....	136
A3.1.3	Concepto de interferencia	136
A3.1.4	Descripción de la prueba.....	136
A3.1.5	Observaciones	138
A3.1.6	Posible técnica de reducción de la interferencia	139
A3.1.7	Conclusiones	139
A3.2	Medición de las emisiones radiadas por dispositivos de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticas en un entorno residencial de Canadá.....	139
A3.2.1	Introducción	139
A3.2.2	Medición de potencia conducida – Procedimientos de prueba y resultados	140
A3.2.3	Medición de la intensidad de campo – Procedimiento y resultados	143
A3.2.4	Conclusiones	149
A3.3	Resultados de la prueba de medición de las emisiones radiadas por sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticos en un entorno residencial realizada en Japón	149
A3.3.1	Introducción	149
A3.3.2	Método de medición.....	150
A3.3.3	Condiciones de la comunicación PLT	150

A3.3.4	Resultados de la medición.....	152
A3.4	Resultados de la medición de la fuga de emisiones de sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) en las bandas de ondas decamétricas y decimétricas	155
A3.4.1	Introducción	155
A3.4.2	Experimento realizado en el Monte Akagi, Japón, el 23 de julio de 2002.....	155
A3.4.3	Fuga de emisiones en la banda de ondas decamétricas.....	157
A3.4.4	Emisiones no esenciales en la banda de ondas decimétricas	159
A3.4.5	Comparación del nivel de ruido PLT con la Recomendación UIT-R RA.769 a 327 MHz	161
A3.4.6	Conclusiones	162
A3.5	Medición de la distancia de separación	162
A3.5.1	Medición de la distancia de separación en Brasil	162
A3.5.2	Medición de la distancia de separación en Canadá.....	163
A3.5.3	Medición de la dependencia en la distancia de las fugas de campos eléctricos causadas por sistemas PLT domésticos en Japón	163
A3.5.3.1	Introducción.....	163
A3.5.3.2	Medición.....	164
A3.5.3.3	Datos de la medición	166
A3.5.3.4	Derivación de la dependencia en la distancia.....	174
A3.5.3.5	Resumen	174
A3.6	Incidencia de la radiación de fuga causada por los sistemas PLT domésticos en las observaciones de radioastronomía.....	175
A3.6.1	Introducción	175
A3.6.2	Entorno de ruido radioeléctrico en el lugar de medición	176
A3.6.3	Mediciones	176
A3.6.4	Datos medidos.....	178
A3.6.5	Evaluación de la perturbación PLT comparada con la Rec. ITU-R RA.769	182
A3.6.6	Mitigación de la perturbación PLT causada a las observaciones de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas	182
A3.6.7	Conclusiones	183
Apéndice 1	al Anexo 3 – Medición de la radiación electromagnética generada por dispositivos PLT domésticos operativos en un entorno residencial – Informe de las pruebas en el terreno.....	183
Anexo 4	– Ejemplos de diseño de la tecnología PLT	184

A4	Ejemplos de diseño de la tecnología PLT	184
A4.1	Ejemplos de topología de una red PLT.....	184
A4.2	Consideraciones generales de diseño.....	185
A4.2.1	Control de acceso a los medios	185
A4.2.2	Repetidores.....	185
A4.2.3	Multiplexación y acceso múltiple	185
A4.2.4	Distancia.....	186
A4.3	Arquitecturas de red PLT en las líneas de distribución de media tensión	186
A4.4	Arquitectura de red PLT en las líneas de distribución de baja tensión.....	186
A4.4.1	Topología de red PLT de baja tensión	187
A4.4.2	Topologías de red PLT de alta densidad	188
A4.4.3	Topología de red PLT en estrella	188
A4.4.4	Topología de red PLT en árbol	188
A4.4.5	Topología de red PLT multiplanta	188

1 Introducción

Como parte de los estudios de compatibilidad entre los sistemas de radiocomunicaciones y los sistemas de telecomunicaciones con transmisión de datos a alta velocidad que utilizan los cables de distribución de energía eléctrica o de teléfono (Cuestión UIT-R 221/1), este Informe abarca la utilización del espectro radioeléctrico y los correspondientes requisitos de protección de los servicios de radiocomunicaciones contra las telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT, *power line telecommunications*). Los sistemas PLT utilizan señales de radiofrecuencias aplicadas a las líneas eléctricas utilizadas para la distribución de electricidad. Dado que las líneas eléctricas no están diseñadas para la transmisión de señales a alta velocidad de datos, las señales PLT en las líneas eléctricas pueden causar interferencias a los servicios de radiocomunicaciones.

El número 15.12 del RR establece que: «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 Reglamento»^{«1»}.

Este Informe se refiere a la utilización de sistemas PLT en frecuencias inferiores a 80 MHz. Esta nueva familia de aplicaciones recibe los siguientes nombres: PLC (comunicaciones por líneas eléctricas), BPL (banda ancha por líneas eléctricas) y PLT (telecomunicaciones por líneas eléctricas). En este Informe se utiliza el término genérico PLT.

1.1 Comunicaciones de datos por líneas de alimentación eléctrica

Hace ya muchos años que existe la señalización a través de la red de alimentación eléctrica utilizando las bandas de ondas miriamétricas y kilométricas, y hay muchas aplicaciones de transmisión de datos a baja velocidad por las líneas eléctricas en funcionamiento, incluida la señalización que emplean las compañías eléctricas en sus propias redes de distribución.

Desde 1998, la evolución de la tecnología de módem de datos ha demostrado que es posible utilizar frecuencias más altas y mayores anchuras de banda para comunicar a través de la red de distribución eléctrica, empleando las frecuencias hasta 80 MHz.

En la actualidad hay dos grandes familias de aplicaciones PLT:

- PLT de acceso, cuyo mercado objetivo es el del último kilómetro (es decir, 1,2 km) entre la subestación de suministro eléctrico y el abonado, por lo que podría convertirse en un medio alternativo de acceso al bucle local de telecomunicaciones.
- PLT doméstico, cuyo objetivo es distribuir señales (procedentes, por ejemplo de las PLT de acceso o la DSL) a los enchufes eléctricos dentro de los edificios.

Además, el UIT-R y el UIT-T están estudiando la red eléctrica inteligente¹.

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

¹ La red eléctrica inteligente está siendo estudiada por el Grupo Temático del UIT-T sobre Red Eléctrica Inteligente. Una de las tareas de este Grupo Temático es elaborar una definición del término «red eléctrica inteligente». Para más detalles consúltese <http://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/smart>.

La PLT puede ofrecer una velocidad de transmisión de varios Mbit/s a través del cableado eléctrico normal de los edificios. En el caso de la PLT de acceso, esta velocidad de datos está compartida entre diversos usuarios simultáneos. Dado que la PLT utiliza el protocolo Internet (IP, *Internet protocol*), su principal aplicación podría también describirse como Internet en el enchufe. La ventaja de la PLT es que utiliza la red eléctrica de baja tensión existente y ampliamente implantada, lo que permite ofrecer nuevos servicios sin necesidad de tender cables adicionales. La implantación de sistemas PLT y sus características técnicas pueden variar considerablemente en función de la aplicación y del país de que se trate.

En determinadas circunstancias, puede haber una importante atenuación de las señales RF a lo largo de las líneas eléctricas de baja tensión, donde múltiples transformadores de poste alimentados por una red de distribución de media tensión dentro de una localidad alimentan a un bajo número de consumidores a baja tensión (como suele pasar con el suministro bifase a 110 V a hogares y locales comerciales) o cuando los contadores eléctricos utilizan redes con componentes inductivos y capacitivos.

Sin embargo, en una red de distribución trifásica de 220/240 voltios puede haber más de 100 consumidores por fase alimentados a partir de un transformador de alta tensión. En el caso de las redes subterráneas, el aislamiento de los contadores puede ser escaso, a medida que se normaliza el uso de la medición electrónica. En tales circunstancias, múltiples sistemas PLT podrían acabar compartiendo la anchura de banda, reduciéndose así efectivamente el caudal de datos disponible en la red eléctrica de varias calles o de un gran edificio con poca atenuación entre los sistemas.

En el Anexo 4 al presente Informe se muestran ejemplos de cómo se han diseñado e implantado los sistemas PLT en todo el mundo.

2 Elementos fundamentales relacionados con las emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT

2.1 Introducción

Las líneas de alimentación eléctrica están formadas por dos o tres cables conductores. Es sobradamente conocido que la configuración de la red de alimentación eléctrica en las casas es compleja y varía de un hogar a otro y según el país. En un sistema PLT, el equipo PLT (módem) inserta la potencia de señal en la línea de alimentación eléctrica, donde la corriente de señal de radiofrecuencia se diseña de modo que tenga la misma magnitud, pero circule en sentido opuesto. Sin embargo, en la mayoría de los casos la corriente de los dos hilos tiene componentes que fluyen en la misma dirección. Esos componentes en fase se comportan como las denominadas corrientes de antena, que se convierten en fuentes primarias de radiación no deseada procedente del sistema PLT.

En las redes de distribución, los componentes de corriente de radiofrecuencia en fase en los conductores de alimentación eléctrica pueden considerarse fuentes de radiación primaria, si la distancia de separación entre conductores es muy inferior a la longitud de onda de las señales PLT. Cuando la longitud de una red de alimentación eléctrica es similar a la longitud de onda de la señal RF en fase, la línea de alimentación puede actuar como una buena antena.

Dado que la configuración de la red de alimentación eléctrica varía de un hogar a otro, es posible describir y analizar cada tendido de la línea de alimentación utilizando códigos electromagnéticos numéricos, tales como NEC2 o NEC4², e ilustrar las perturbaciones y distribuciones de corriente

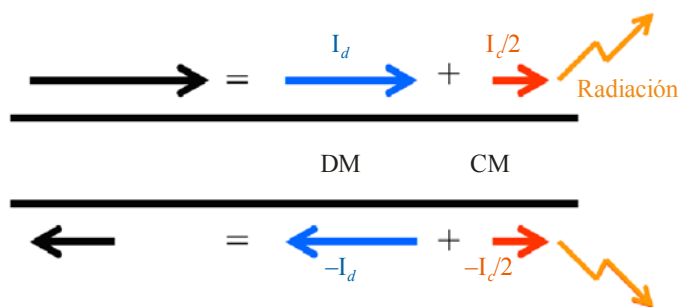
² Véase, por ejemplo, ZHANG, M. y LAUBER, W. [2008] Evaluation of the Interference Potential of In-Home Power Line Communication Systems. IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications. pág. 263-268.

RF en fase. Ahora bien, es imposible obtener resultados cuantitativos que puedan aplicarse a todos los casos. Por consiguiente, en este capítulo se presentan los conceptos y elementos fundamentales para comprender las perturbaciones que causan los sistemas PLT.

2.2 Corriente diferencial y corriente común

Según se ha descrito en § 2.1, la corriente de la señal PLT en dos hilos conductores se diseña para que tenga la misma magnitud y fluya en sentidos opuestos. Este modo de corriente fundamental se denomina modo diferencial (MD) en la teoría de la línea de transmisión. No obstante, si la fuente de la señal, las líneas de alimentación o la carga no están eléctricamente equilibradas con respecto a tierra y los objetos cercanos, o los hilos de alimentación no son geoméricamente paralelos, las corrientes en los conductores tendrán componentes que fluyan en la misma dirección. Este modo de corriente en fase se denomina modo común (MC). Por ende, la corriente de la señal PLT en cada conductor puede expresarse mediante un vector suma de los componentes diferenciales y comunes, es decir I_d e I_c , como se muestra en la Fig. 2-1. Estas dos corrientes se propagan independientemente por las líneas de alimentación, si están equilibradas. Sin embargo, están acopladas a elementos no equilibrados en la red de alimentación eléctrica. Dado que las corrientes PLT MD en dos conductores cercanos y alineados fluyen en sentidos opuestos, es posible que los campos electromagnéticos generados se cancelen mutuamente, por lo que no hay un campo significativo en puntos distantes de las líneas de alimentación. Por el contrario, las ondas electromagnéticas generadas por las corrientes PLT MC no pueden cancelarse. En la gama de ondas decamétricas y en frecuencias muy superiores, es posible que se radien ondas electromagnéticas de manera semejante a lo que ocurre con las antenas monopolo y las antenas de dipolo plegado.

FIGURA 2-1
Corriente en modo diferencial y en modo común
por una línea de transmisión de dos conductores



I. SM 2158-2-01

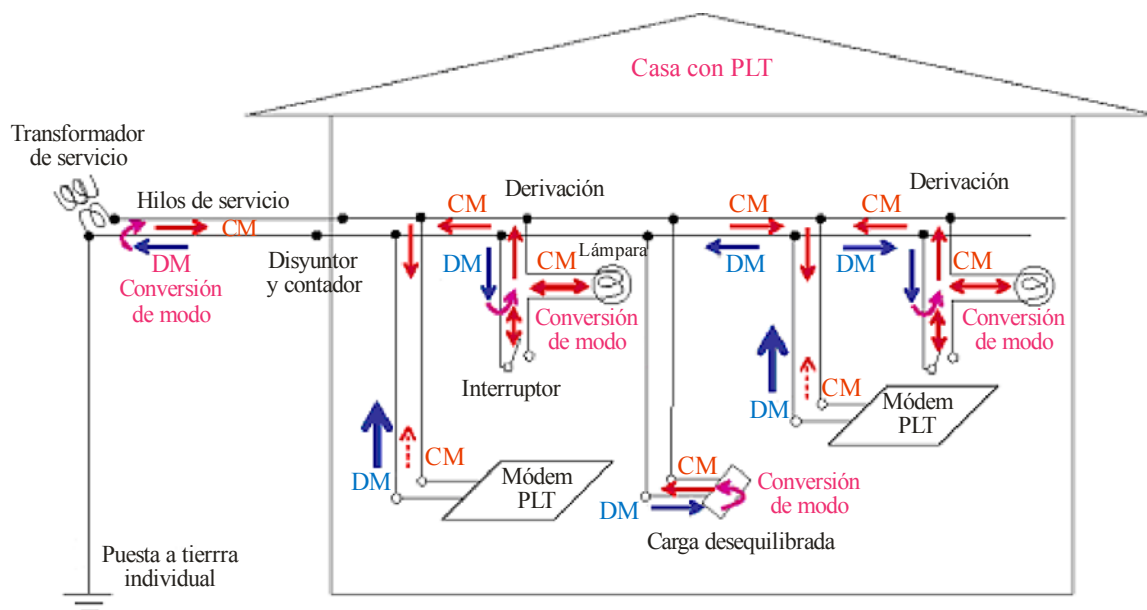
Cuando los módems PLT introducen la señal MD en redes eléctricas muy desequilibradas, habrá un fuerte acoplamiento entre los modos MD y MC. Cabe señalar que todas las corrientes MC que fluyen por la red de alimentación son fuentes de perturbación PLT. Por otra parte, los cables eléctricos suelen estar empotrados en muros, el techo, el suelo o tuberías, lo que en general complica la medición de las corrientes que circulan por dichos cables. Es evidente que se han de efectuar más mediciones para comprender mejor las características de radiación de las líneas de alimentación eléctrica.

2.3 Generación de la corriente en modo común

Las corrientes de señal PLT en modo diferencial (MD) pueden transformarse en corrientes en modo común (MC) debido a dos causas distintas, a saber, un desequilibrio del módem PLT o un desequilibrio de las líneas de alimentación. El desequilibrio en la red de alimentación eléctrica se debe a: i) la carga desequilibrada conectada a un enchufe; ii) el interruptor derivado, formado por una o varias lámparas de techo y un interruptor mural de un solo polo; y iii) en algunos países, el hilo de servicio puesto a tierra individualmente, como se muestra en la Fig. 2-2. Obsérvese que los elementos desequilibrados de la red de alimentación eléctrica suelen estar lejos del módem PLT, separados por varios metros, incluso decenas de metros. Por consiguiente, es necesario solucionar las corrientes MC generadas en los elementos desequilibrados distantes con circuitos constantes distribuidos o aplicando la teoría de la línea de transmisión. En la práctica, es difícil identificar e investigar cuantitativamente cada uno de los elementos desequilibrados de una red de alimentación eléctrica. También resulta imposible detectar cada elemento desequilibrado de una red de alimentación eléctrica efectuando mediciones en un punto cualquiera de la red, como se expone en el apartado siguiente.

FIGURA 2-2

Corrientes en modo diferencial y en modo común en la red de alimentación



I. 2158-2-02

2.4 Efecto de antena de dipolo plegado en la derivación del interruptor

Hay muchos circuitos derivados conectados en paralelo a las líneas de alimentación principales en las casas y edificios. En algunas frecuencias específicas, cuando la longitud de la derivación se acerca a la mitad de la longitud de onda (condición resonante), el circuito derivado se comporta como una antena de dipolo plegado, como se muestra en la Fig. 2-2. Entonces, la derivación resonante radia fuertemente ondas electromagnéticas. En el caso de una antena de dipolo plegado resonante de este tipo, las corrientes MD que se hacen pasar por el punto de alimentación se convierten completamente en corrientes MC en los elementos plegados. Como esta antena de dipolo plegada está equilibrada en el punto de alimentación, este tipo de conversión de modo (desequilibrado) no puede, en principio, detectarse a distancia de la antena plegada. Cabe señalar que la antena de dipolo plegado es un tipo de antena de banda ancha bien conocido y que el efecto del dipolo plegado se produce a menor eficiencia de radiación, aun cuando no se esté en condición resonante.

2.5 Apantallamiento efectivo de los muros exteriores de una casa

Los campos electromagnéticos radiados por las líneas de alimentación pueden estar en cierta medida apantallados por los muros exteriores y el tejado de la casa y/o el edificio. Los efectos del apantallamiento varían en función de los materiales de las paredes y el techo, y de la estructura del edificio, por lo que dichos efectos son distintos de una casa a otra y resulta difícil de medirlos cuantitativamente. El efecto de apantallamiento vertical a través de techos y tejados puede ser muy distinto del efecto de apantallamiento horizontal a través de las paredes, incluso para un mismo edificio. Por regla general, las paredes de madera tienen un menor efecto de apantallamiento que las de hormigón.

2.6 Fuga desde la línea de alimentación eléctrica dentro del inmueble hacia los hilos de servicio fuera del inmueble

Dado que los hilos de servicio fuera de los inmuebles no están blindados, pueden tener una longitud de varias decenas de metros y encontrarse a una altura de casi diez metros por encima del suelo, la corriente MC en los hilos de servicio tiene más posibilidades de causar interferencia a los servicios de radiocomunicaciones en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas. Además, los hilos de servicio están puestos a tierra individualmente en los transformadores de servicio, están muy desequilibrados y pueden convertir la corriente MD en corriente MC muy fácilmente en algunos países. Por consiguiente, se ha de estudiar muy cuidadosamente la corriente de fuga tanto MC como MD desde la red de alimentación eléctrica de la casa hacia los hilos de servicio fuera del inmueble.

3 Características de los sistemas de radiocomunicaciones, criterios de protección y repercusión de los sistemas PLT en los sistemas de radiocomunicaciones

3.1 Radiodifusión

3.1.1 Características generales de la radiodifusión analógica³ en las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas

Para la planificación de los servicios de radiodifusión analógica por debajo de 10 MHz se utilizan las siguientes características físicas y parámetros técnicos.

3.1.1.1 Anchura de banda

La anchura de banda de un receptor MA moderno típico es de 4,4 kHz, pero puede ser variable al haber receptores modernos con anchura de banda seleccionable.

3.1.1.2 Ruido del receptor

Además del ruido atmosférico y el ruido artificial, también se ha de tener en cuenta el ruido intrínseco del receptor, que se describe a continuación.

El nivel de ruido intrínseco del receptor, E_i^0 , se calcula con la ecuación:

$$E_i^0(\text{dB}(\mu\text{V/m})) = E_C(\text{dB}(\mu\text{V/m})) + 20 \log M - \text{SNR}_{af}$$

³ Se están llevando a cabo estudios sobre los parámetros de planificación adecuados para la radiodifusión digital en ondas decamétricas.

donde:

E_c : sensibilidad limitada por el ruido del receptor

M : profundidad de modulación

SNR_{af} : relación señal/ruido de la frecuencia de audio.

De conformidad con la Recomendación UIT-R BS.703, la sensibilidad mínima de un receptor de radiodifusión sonora MA es:

	Ondas kilométricas	Ondas hctométricas	Ondas decamétricas
E_c dB(μ V/m)	66	60	40

Por consiguiente:

	Ondas kilométricas	Ondas hctométricas	Ondas decamétricas
M	0,3	0,3	0,3
SNR_{af} (dB)	32	32	26
E_i^0 dB(μ V/m)	23,5	17,5	3,5

3.1.1.3 Intensidad de campo mínima utilizable

El ruido de fondo empleado en el cálculo de la intensidad de campo mínima requerida está determinado por el valor más alto de entre: el ruido atmosférico, el ruido artificial y el ruido intrínseco del receptor. Los valores resultantes para el ruido (sea cual sea el origen), E_n , suelen oscilar entre 3,5 y 7 dB(μ V/m) en las bandas de frecuencias estudiadas. La relación señal/ruido RF, SNR_{RF} , se considera que es de 34 dB para la banda de ondas decamétricas y de 40 dB para las bandas de ondas kilométricas/hctométricas. Por consiguiente, la intensidad de campo mínima utilizable, F_{min} , se calcula de la siguiente manera:

	Ondas kilométricas	Ondas hctométricas	Ondas decamétricas
E_n dB(μ V/m)	20	20	3,5-7
SNR_{RF} (dB)	40	40	34
F_{min} dB(μ V/m)	60	60	37,5-41

3.1.1.4 Relaciones de protección

Las relaciones de protección cocanal y de canal adyacente que se presentan a continuación son aplicables para la protección de las transmisiones de radiodifusión MA contra otras transmisiones MA y no se aplican a la protección contra otros servicios.

Relaciones de protección cocanal

Grado de calidad	Ondas kilométricas	Ondas hctométricas	Ondas decamétricas
3 (media)	27 dB	27 dB	17 dB
4 (buena)	30 dB	30 dB	27 dB

Relaciones de protección en el canal adyacente

ΔF_{kHz}	Ondas kilométricas	Ondas hectométricas	Ondas decamétricas
0	0-9 ⁽¹⁾	0-9	0
± 2	+10	+10	+10
± 5	-3	-3	-3
± 10	-35	-35	-35

⁽¹⁾ La gama de valores corresponde a varios grados de compresión de modulación y diversas anchuras de banda (por ejemplo, 4,5 kHz/10 kHz).

3.1.2 Características generales de la radiodifusión digital DRM⁴ en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas

Para la planificación de los servicios de radiodifusión digital por debajo de 10 MHz se utilizan las siguientes características físicas y parámetros técnicos. Se trata de características específicamente elaboradas para el sistema Digital Radio Mondiale (DRM). Para este sistema se especifican diversos modos de robustez, tipos de ocupación del espectro, esquemas de modulación y niveles de protección a fin de ofrecer un servicio adecuado en múltiples condiciones de propagación e interferencia distintas. Las posibles combinaciones de estas características ofrecen gamas de valores para la relación señal/ruido (S/N), la intensidad de campo mínima utilizable, etc., a las que se hará alusión brevemente en las siguientes cláusulas.

3.1.2.1 Modos de robustez DRM

En la especificación DRM, se definen cuatro modos de robustez con distintos parámetros (número y espaciado de subportadoras, longitud de símbolo útil y longitud de intervalo de guarda, etc.) para la transmisión múltiplex por división ortogonal de frecuencia (OFDM, *orthogonal frequency division multiplex*) con diversas condiciones de propagación en las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas:

Modo de robustez	Condiciones de propagación típicas	Banda de frecuencias preferida
A	Canales de onda de superficie con leve desvanecimiento	Ondas kilométricas, ondas hectométricas
B	Canales selectivos en tiempo y frecuencia con mayor despliegue de los tiempos de propagación	Ondas hectométricas, ondas decamétricas
C	Idéntica robustez al modo B, pero mayor despliegue Doppler	Sólo ondas decamétricas
D	Idéntica robustez al modo B, pero gran despliegue de los tiempos de propagación y Doppler	Sólo ondas decamétricas

⁴ Se están estudiando los parámetros de planificación adecuados para la radiodifusión digital en ondas decamétricas.

3.1.2.2 Tipos de ocupación del espectro

Para cada modo de robustez, la anchura de banda de la señal ocupada puede variar en función de la banda de frecuencias y de la aplicación deseada.

	Anchura de banda de la señal ocupada (kHz)			
Modo de robustez	Tipo de ocupación del espectro			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C	–	–	–	9,477
D	–	–	–	9,536
Anchura de banda nominal (kHz)	4,5	5	9	10

3.1.2.3 Modulación y niveles de protección

Para todos los modos de robustez se definen dos esquemas de modulación distintos (MAQ-16 y MAQ-64), que pueden utilizarse en combinación con uno de dos (MAQ-16) o cuatro (MAQ-64) niveles de protección, respectivamente.

Modulación	Nivel de protección	Velocidad de código media
MAQ-16	0	0,5
MAQ-16	1	0,62
MAQ-64	0	0,5
MAQ-64	1	0,6
MAQ-64	2	0,71
MAQ-64	3	0,78

3.1.2.4 Ruido del receptor

Además del ruido atmosférico y el ruido artificial, se ha de tener en cuenta el ruido intrínseco del receptor, como se indica en § 3.1.1.2.

3.1.2.5 Intensidad de campo mínima utilizable

A fin de que la calidad del servicio de audio digital DRM sea suficientemente elevada, se necesita una tasa de errores en los bits (BER, *bit-error ratio*) alrededor de 10^{-4} . La relación señal/ruido necesaria en la entrada del receptor para lograr esa BER depende, además de los parámetros del sistema, de las condiciones de propagación de las ondas de las diferentes bandas de frecuencias.

En el siguiente Cuadro se presentan los valores pertinentes para la intensidad de campo mínima utilizable. Estas gamas abarcan los esquemas de modulación y niveles de protección posibles. Sólo se indican algunas de las posibles combinaciones, lo que basta para obtener una idea de la amplia gama de valores que se pueden obtener.

Modo de robustez	Ondas kilométricas	Ondas hectométricas	Ondas decamétricas
Modo de robustez A (Propagación por onda de superficie)	39,1-49,7	33,1-43,7	
Modo de robustez A (Propagación por onda de superficie y onda ionosférica)		33,9-47,4	
Modo de robustez B (Propagación por onda ionosférica)	—		19,1-30,4

**Valores de los parámetros de planificación para un sistema DRM
por debajo de 30 MHz**

Banda	Ondas kilométricas		Ondas hectométricas		Ondas decamétricas	
Anchura de banda (kHz)	4,5 kHz	9 kHz	4,5 ó 5 kHz	9 ó 10 kHz	5 kHz	10 kHz
S/N (dB) requerida ⁽¹⁾	8,8-22,9	8,6-22,0	8,8-31,2	8,6-30,9	9,5-31,2	9,3-35,5
Ruido intrínseco del receptor (dB(μV/m))	27,5	30,5	21,5	24,5	1,5	4,5
Intensidad de campo mínima utilizable (dB(μV/m)) ⁽¹⁾	39,3-49,7	39,1-49,2	33,3-47,4	33,1-46,5	19,2-30,4	19,1-29,9

⁽¹⁾ Los valores dependen del esquema de modulación (MAQ-16 o MAQ-64), la velocidad de codificación (0,5-0,78), y el modelo de canal de propagación (onda de superficie y/u onda ionosférica).

3.1.2.6 Relación señal/ruido requerida para la recepción DRM

Las relaciones señal/ruido (SNR, *signal-to-noise ratio*) que se presentan a continuación son las necesarias para lograr una BER cercana a 10^{-4} con las condiciones de propagación y en las bandas de frecuencias indicadas.

	Ondas kilométricas	Ondas hectométricas	Ondas decamétricas
Propagación por onda de superficie (9, 10 kHz BW)	8,6-21,4	8,6-21,4	—
Modo de robustez A, B (4,5, 5 kHz BW) (Propagación por onda de superficie)	8,8-19,5	8,8-19,5	—
Modo de robustez B (Propagación por onda de superficie y onda ionosférica)	—	9,4-22,8	14,6-30,9
Modo de robustez C (Propagación por onda de superficie y onda ionosférica)	—	—	14,6-33,3
Modo de robustez D (Propagación por onda ionosférica)	—	—	16,0-35,0

3.1.2.6.1 Relaciones de protección

La combinación de tipos de ocupación del espectro y modos de robustez arroja diversos espectros RF de transmisión, que causan distintas interferencias y, por ende, requieren distintas relaciones de protección RF. Las diferencias de las relaciones de protección para los diversos modos de robustez DRM son escasas. Por consiguiente, las relaciones de protección RF que se presentan en los siguientes cuadros sólo se refieren al modo de robustez B.

3.1.2.6.2 Relaciones de protección cocanal

Señal deseada	Señal no deseada	Gama de relación de protección cocanal
MA	DRM	23,0-23,6
DRM	MA	4,8-7,8
DRM	DRM	12,8-16,4

3.1.2.6.3 Relaciones de protección en el canal adyacente

No se reproducen aquí los valores de la relación de protección de canal adyacente, que oscila entre los -20 kHz y los +20 kHz de separación en frecuencia.

3.1.3 Gamas de frecuencias para la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas, decamétricas y métricas

De acuerdo con el Artículo 5 del RR, las siguientes bandas de frecuencias inferiores a 80 MHz están atribuidas a la radiodifusión:

Banda	Frecuencias
Ondas kilométricas	148,5-283,5 kHz (Región 1)
Ondas hectométricas	526,5-1 605,5 kHz (Regiones 1, 3)
	525-1 705 kHz (Región 2)
Ondas decamétricas	3 950-4 000 kHz (Regiones 1, 3)
	5 900-6 200 kHz
	7 100-7 350 kHz CMR-03: 7 200-7 350 (03-2007) y -7 400 (03-2009)
	9 400-9 900 kHz
	11 600-12 100 kHz
	13 570-13 870 kHz
	15 100-15 800 kHz
	17 480-17 900 kHz
	18 900-19 020 kHz
	21 450-21 850 kHz
	25 670-26 100 kHz
Ondas métricas	47-68 MHz (Región 1)
	54-72 MHz (Región 2)
	47-50 MHz, 54-68 MHz (Región 3)
	76-108 MHz (Región 2)

Banda	Frecuencias
Bandas tropicales (utilizadas para la radiodifusión nacional en los países tropicales):	
	2 300-2 498 kHz (Región 1, Tropical)
	2 300-2 495 kHz (Regiones 2+3)
	3 200-3 400 kHz (Todas las Regiones)
	4 750-4 995 kHz
	5 005-5 060 kHz

3.1.4 Criterios de protección e interferencia aceptable

En el Reglamento de Radiocomunicaciones y en los diversos Informes y Recomendaciones UIT-R pueden encontrarse especificaciones e información de utilidad para derivar los requisitos de protección para la recepción fiable de la radiodifusión. En esta cláusula se resume dicha información y se intentan derivar los requisitos de protección de la radiodifusión sonora analógica en ondas decamétricas. Dado que la mayoría de módems PLT utiliza como método de modulación el OFDM y el espectro ensanchado (SS, *spread spectrum*), la interferencia procedente de los sistemas PLT se considera como ruido aleatorio en el siguiente análisis.

3.1.4.1 Recomendaciones UIT-R BS.1786 y UIT-R BT.1786 – Criterio para evaluar la repercusión de la interferencia causada al servicio de radiodifusión terrenal

Descripción	Criterio aceptable de interferencia total causada al servicio de radiodifusión por los dispositivos y sistemas sin atribución de frecuencias en el Reglamento de Radiocomunicaciones
Valor derivado	En ningún momento rebasará el uno por ciento de la potencia de ruido total del sistema receptor

3.1.4.2 Recomendación UIT-R BS.560-4 – Relaciones de protección de radiofrecuencias en la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas

Descripción	Intensidad de campo mínima utilizable: 34 dB más el valor más alto entre 3,5 dB($\mu\text{V/m}$) (ruido intrínseco del receptor) y el ruido atmosférico
Valor derivado	Relación portadora/ruido (C/N): 34 dB Intensidad de campo mínima utilizable $\geq 37,5 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$

3.1.4.3 Recomendación UIT-R BS.703 – Características de los receptores de radiodifusión sonora MA para la planificación

Descripción	Sensibilidad limitada por el ruido: 40 dB $\mu\text{V/m}$, basada en la una relación señal AF/ruido no deseado (r.m.s.) de 26 dB, relacionada con una modulación del 30%
Valor derivado	C/N : $26 \text{ dB} - 20 \log(0,3) \text{ dB} = 26 + 10,5 = 36,5 \text{ dB}$ Intensidad de campo: 40 dB($\mu\text{V/m}$)

3.1.4.4 Informe UIT-R BS.1058 – Relación señal/ruido AF y RF mínima necesaria para la radiodifusión en la banda 7 (ondas decamétricas)

Descripción	Relación señal/ruido AF para la planificación: 24 dB
	Relación señal/ruido AF correspondiente al grado 4 en la escala del UIT-R (perceptible pero no molesto): 31 dB
	Relación señal/ruido AF correspondiente al grado 3 en la escala del UIT-R (ligeramente molesto): 20-21 dB
Valor derivado	$C/N: 24 \text{ dB} - 20 \log(0,3) \text{ dB} = 24 + 10,5 = 34,5 \text{ dB}$

3.1.4.5 Anexo 2 a la Recomendación UIT-R BS.1615 – Parámetros de planificación para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz – Relaciones de protección RF para DSB (sistema DRM) en frecuencias inferiores a 30 MHz

Descripción	Relación de protección RF relativa para la MA interferida por digital: 6 a 6,6 dB para una relación de protección AF de 0 dB como valor de referencia
Valor derivado	$C/N: 6 \text{ dB} + 17 \text{ dB} = 23 \text{ dB}$, para una relación de protección AF de 17 dB ⁽¹⁾

⁽¹⁾ El valor 17 dB se utiliza como ejemplo para derivar la C/N en valores absolutos.

3.1.4.6 Derivación de la gama aceptable del incidente de intensidad de campo procedente de sistemas de telecomunicaciones alámbricos

Resumen del valor derivado	Intensidad de campo mínima utilizable de la radiodifusión en ondas decamétricas: 37.5 a 40 dB($\mu\text{V}/\text{m}$) $C/N: 30$ a 36,5 dB
Intensidad de campo derivada	Gama de la incidente de intensidad de campo procedente de sistemas alámbricos: 1 a 10 dB($\mu\text{V}/\text{m}$)

3.1.4.7 Nivel de ruido del receptor y nivel de interferencia aceptable

Para realizar una estimación de la deterioración de la sensibilidad del receptor debida a la interferencia cocanal, o para estimar el nivel de interferencia cocanal aceptable, es más importante conocer el nivel de ruido del receptor que su sensibilidad, pues esta última se deteriora al incrementarse el ruido a causa de la potencia de la interferencia cocanal. Por ejemplo, si la potencia de la interferencia cocanal que se recibe es igual al ruido del receptor original, la potencia de ruido resultante se incrementa por un factor de 2 (3 dB) (ignorando la diferencia de las formas de onda de ruido), y la sensibilidad se deteriora en 3 dB.

El nivel de ruido externo del receptor y el nivel de interferencia suelen expresarse en términos de intensidad de campo. Por consiguiente, conviene expresar el ruido interno del receptor mediante la intensidad de campo equivalente para facilitar la comparación (en lugar del ruido real existente en el receptor se supone que se recibe un ruido equivalente por la antena con un receptor sin ruido.)

El nivel de ruido del receptor puede calcularse como se indica en § 3.1.1.2. Aunque este ruido del receptor se estima empleando la sensibilidad del receptor analógico, los resultados también son aplicables a los receptores digitales cuando se tienen en cuenta las diferencias de anchura de banda.

La anterior estimación del ruido del receptor se efectúa a condición de que no haya ruido externo. Sin embargo, el ruido del receptor suele incluir el ruido externo que se recibe por la antena receptora, además del ruido interno (intrínseco) del receptor, que se genera en el mismo receptor. El

ruido externo de los receptores que funcionan por debajo de 30 MHz comprende el ruido atmosférico, el ruido artificial y el ruido cósmico.

En la Recomendación UIT-R P.372-9 se expresa la intensidad media del ruido atmosférico, el ruido artificial y el ruido cósmico comparándolas con el nivel de ruido térmico, kT_0b , cuando los ruidos se reciben a través de un monopolo vertical corto sin pérdidas en suelo perfectamente plano. Por consiguiente, conviene convertir el nivel de ruido interno del receptor en la intensidad de campo equivalente (E_{ri}), como ya se ha dicho, basándose en una antena idéntica.

La intensidad de campo equivalente del ruido (total) del receptor (E_{rt}) se expresa mediante la intensidad de campo correspondiente a la suma de potencias de la E_{rt} anterior y la intensidad de campo media del ruido externo (E_{re}). Así:

$$E_{rt}^2 = E_{ri}^2 + E_{re}^2 \quad (3-1)$$

Cuando la intensidad de campo de la interferencia cocanal, E_u , se superpone a la E_{rt} , la intensidad de campo equivalente de la potencia de ruido del receptor aumenta hasta E_{rtu} , que corresponde a la suma de potencias de E_{rt} y E_u . Así:

$$E_{rtu}^2 = E_{rt}^2 + E_u^2 \quad (3-2)$$

Por ejemplo:

- Cuando E_u es igual a E_{rt} , el ruido total del receptor aumenta en 3 dB, es decir, la sensibilidad del receptor se deteriora en 3 dB.
- Cuando E_u es 6 dB inferior a E_{rt} , la sensibilidad del receptor se deteriora en 1 dB.
- Cuando E_u es 10 dB inferior a E_{rt} , la sensibilidad del receptor se deteriora en 0,5 dB.
- Cuando E_u es 20 dB inferior a E_{rt} , la sensibilidad del receptor se deteriora en 0,05 dB.

En resumen, para limitar el deterioro de la sensibilidad del receptor debido a la interferencia cocanal (E_u) a unos 0,05 dB, E_u debe ser 20 dB inferior a la intensidad de campo equivalente del ruido (total) del receptor (E_{rt}).

3.1.4.8 Intensidad de campo equivalente del ruido del receptor

En § 3.1.1.2 el ruido interno del receptor se calcula utilizando la sensibilidad del receptor con una antena incorporada. No obstante, las cifras de sensibilidad de § 3.1.1.2 mejoran notablemente si se utiliza una antena externa, como un hilo corto extendido en la habitación. Teniendo en cuenta esta mejora y las bajas pérdidas de acoplamiento de antena de los receptores de ondas métricas, se considera que el ruido externo, cuyo valor mínimo está determinado por el ruido artificial, es un componente clave del ruido de los receptores que funcionan por debajo de 80 MHz.

Con las condiciones de antena definidas en la Recomendación UIT-R P.372, una antena monopolo vertical corta sin pérdidas en suelo perfectamente plano, la potencia recibida (P_r) de una intensidad de campo, E , se expresa con la fórmula:

$$P_r = E^2 \lambda^2 / (640 \pi^2) \quad (3-3)$$

donde:

- P_r : potencia recibida máxima disponible (W)
- E : intensidad de campo (V/m)
- λ : longitud de onda (m) = $3 \times 10^2 / f$
- f : frecuencia (MHz).

Si se sustituye kT_0b ($-164,5$ dBW) por la anterior P_r , la intensidad de campo equivalente del ruido térmico, $E(kT_0b)$, para ($b = 9\,000$ Hz) se obtiene con la ecuación:

$$E(kT_0b) = 20 \log f - 56 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3-4)$$

donde:

$E(kT_0b)$: intensidad de campo equivalente del ruido térmico kT_0b dB($\mu\text{V/m}$)

k : constante de Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T_0 : temperatura de referencia = 288 K

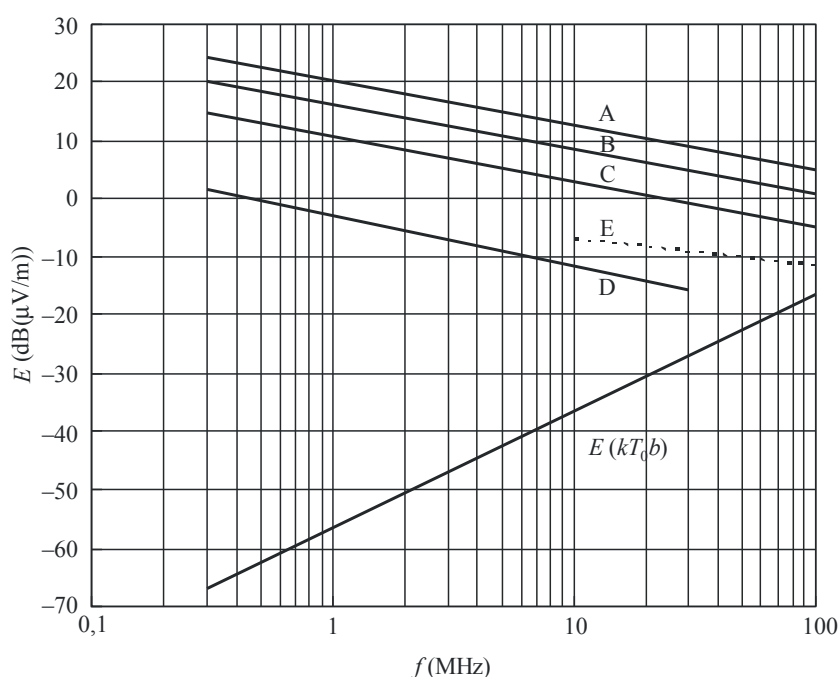
b : anchura de banda del ruido efectivo del receptor (Hz)

kT_0b : $-164,5$ dBW (para $b = 9\,000$ Hz (la anchura de banda b se ha de ajustar en función de la anchura de banda necesaria del sistema transmisor)).

En la Fig. 3-1 se muestra el valor de $E(kT_0b)$. En la Recomendación UIT-R P.372 se expresa la intensidad media de cada tipo de ruido externo comparándola con el nivel de ruido térmico (F_{am} dB relativo a kT_0). Es decir, cada intensidad de campo se obtiene como F_{am} (dB) por encima de $E(kT_0b)$ dB($\mu\text{V/m}$).

FIGURA 3-1

Intensidad de campo equivalente del ruido artificial ($b = 9\,000$ Hz)



Categorías ambientales: Curva A: Urbano Curva D: Rural tranquilo
 Curva B: Residencial Curva E: Ruido cósmico
 Curva C: Rural

I. 2158-3-01

3.1.4.9 Ruido externo

En la Recomendación UIT-R P.372 se expresa la intensidad media del ruido atmosférico, el ruido artificial y el ruido cósmico comparándola con el nivel de ruido térmico (F_{am} dB relativo a kT_0) cuando los ruidos se reciben a través de un monopolo vertical corto sin pérdidas en un suelo perfectamente plano.

3.1.4.9.1 Ruido artificial

En la Fig. 3-1 se muestra el ruido artificial en diversos entornos. Las intensidades de campo equivalentes se refieren a $b = 9\,000$ Hz.

3.1.4.9.2 Comparación entre el ruido artificial y el ruido atmosférico

El nivel mínimo de ruido externo está determinado por el ruido artificial al ser el factor dominante cuando se desvanece el ruido atmosférico.

3.1.4.10 Intensidad de campo de interferencia permisible

A la luz de todo lo anterior, se llega a las siguientes conclusiones:

- Cuando se emplea una antena externa, el ruido externo es el principal ruido del receptor.
- Con una antena incorporada, el ruido externo es el factor más importante en las zonas comerciales y residenciales. Incluso en las zonas rurales el ruido externo es importante.
- Dado que el valor mínimo del ruido externo está determinado por el ruido artificial, la intensidad de campo de interferencia permisible también se determina en función del ruido artificial.
- Se supone en este análisis que se utilizará como referencia el valor de ruido artificial en zonas rurales tranquilas de la Fig. 3-1.

3.1.4.11 Criterios de protección del servicio de radiodifusión

- A fin de proteger el servicio de radiodifusión contra el ruido radiado por los sistemas PLT que utilizan la infraestructura de cableado eléctrico y contra los equipos eléctricos conectados a un enchufe, los niveles de protección entre los valores que representan la línea F en la Fig. 3-2 (valor r.m.s.) y los que representan la línea G en la Fig. 3-2 (valor de cresta) no deberán ser superiores a ese valor en cualquier emplazamiento en que esté ubicado el receptor. Los valores de la Fig. 3-2 reconocen la limitación de ruido de fondo de los receptores de radiodifusión por encima de 30 MHz.
- Los niveles de protección necesarios para proteger a un receptor de radiodifusión alimentado con corriente alterna contra la interferencia causada por un cable de alimentación del receptor son equivalentes a los valores de la Fig. 3-1, incluso cuando se utiliza una antena de hilo largo externa o cuando se utiliza el cable de alimentación como antena poniendo a tierra el terminal de antena externo.

En la Fig. 3-1 se muestran los valores medios de la potencia de ruido artificial en diversos entornos. También se muestra una curva correspondiente al ruido galáctico.

En todos los casos, los resultados son coherentes con una variación lineal del valor medio, F_{am} , con una frecuencia f de forma:

$$F_{am} = c - d \log f \quad \text{dB} \quad (3-5)$$

Cuando f se expresa en MHz, c y d adoptan los valores del Cuadro 3-1. Cabe señalar que la ecuación (3-5) es válida en la gama 0,3-250 MHz para todos los entornos posibles, excepto los de las curvas D y E, como se indica en la Fig. 3-1.

Dado que los anteriores son valores recibidos con un monopolo vertical corto sin pérdidas en un suelo perfectamente plano, la componente vertical de la intensidad de campo r.m.s. se obtiene como F_{am} (dB) por encima de $E(kT_0b)$ (dB), que se obtiene con la ecuación (3-4).

Para $b = 9\,000$ Hz:

$$E_n = F_{am} + 20 \log f - 56 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3-6)$$

donde:

E_n : intensidad de campo en la anchura de banda b , y

f : frecuencia central (MHz)

b : anchura de banda de ruido efectivo del receptor (Hz).

En la Fig. 3-1 se presentan los valores medios de la intensidad de campo de ruido artificial en una serie de entornos, obtenidos a partir de la ecuación (3-6).

Al sustituir F_{am} expresado por la ecuación (3-5) en la ecuación (3-6),

$$E_n = c - d \log f + 20 \log f_{\text{MHz}} - 56 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3-7)$$

$$= c' + d' \log f \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (3-8)$$

donde:

$$c' = c - 56$$

$$d' = 20 - d$$

c' y d' adoptan los valores del Cuadro 3-1.

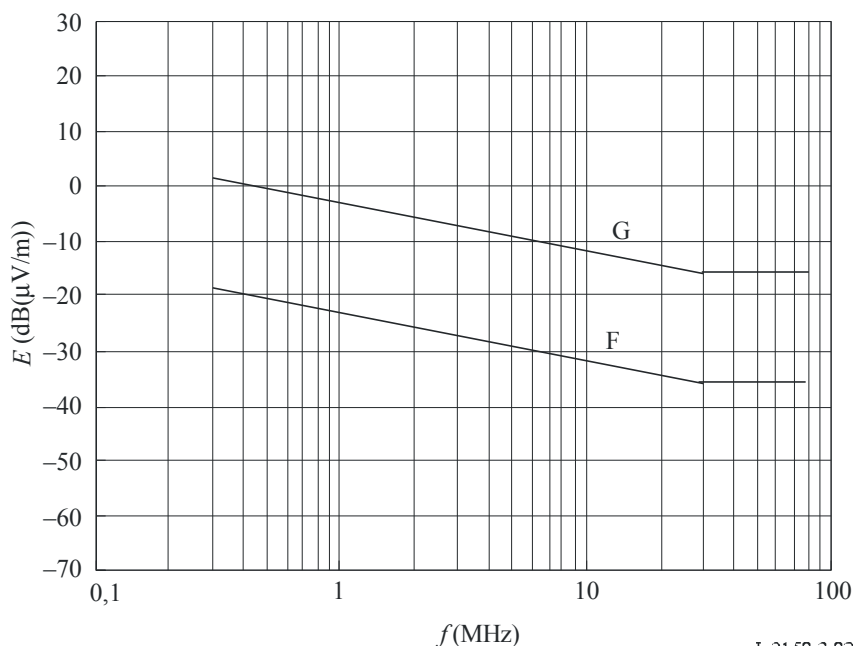
CUADRO 3-1

Valores de las constantes c' y d'

Categoría de entorno	c'	d'
Comercial (curva A)	20,8	-7,7
Residencial (curva B)	16,5	-7,7
Rural (curva C)	11,2	-7,7
Rural tranquilo (curva D)	-2,4	-8,6
Ruido galáctico (curva E)	-4	-3,0

FIGURA 3-2

Criterios de protección contra la intensidad de campo de interferencia ($b = 9\,000$ Hz)



I. 2158-3-02

Curvas F: Criterios de protección para un valor r.m.s de intensidad de campo de interferencia (20 dB por debajo de la curva D de la Fig. 3-1 MHz o por debajo)

G: Criterios de protección para un valor de cresta de intensidad de campo de interferencia (curva idéntica a la curva D de la Fig. 3-1 a 30 MHz o por debajo)

c' y d' para las curvas F y G adoptan los valores del Cuadro 3-2.

CUADRO 3-2

Valores de las constantes c' y d' por debajo de 30 MHz

Categoría de entorno	c'	d'
Curva F	-22,4	-8,6
Curva G	-2,4	-8,6

3.2 Servicio de aficionados y de aficionados por satélite

3.2.1 Características generales

En el RR se define así el servicio de aficionados:

«**1.56** *servicio de aficionados: Servicio de radiocomunicación* que tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuado por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro.

1.57 *servicio de aficionados por satélite: Servicio de radiocomunicación* que utiliza estaciones espaciales situadas en satélites de la Tierra para los mismos fines que el *servicio de aficionados*.»

La potencia de transmisión máxima permitida depende de la reglamentación nacional y oscila entre 100 W y 1,5 kW de potencia de salida. Los servicios de aficionados son los únicos que pueden utilizar altas potencias de transmisión en zonas residenciales. Sin embargo, muchos usuarios eligen utilizar bajas potencias de transmisión, del orden de unos pocos vatios. Se utilizan muy diversos equipos y antenas, en función de la ubicación y los medios económicos. Por consiguiente, no existe una estación de aficionados normalizada.

Los usuarios de los servicios de aficionados por norma general no pueden posicionar las antenas lejos del cableado eléctrico. Deben instalar sus antenas dentro de los límites de sus hogares, lo que suele implicar que se encuentran cerca del cableado eléctrico y telefónico. Los aficionados pueden minimizar la interferencia causada por otras fuentes dejando de utilizar equipos de iluminación, generadores de potencia y otros equipos que generan interferencias cuando están en funcionamiento. Esta opción no existe en el caso de muchos sistemas de transmisión por cable, donde las emisiones están siempre presentes.

Las estaciones del servicio de aficionados se comunican a larga distancia utilizando las bandas de ondas decamétricas, y aprovechando al máximo las ventanas de propagación. Los aficionados suelen operar con una relación señal/ruido mínima o casi mínima para que la comunicación sea eficaz. Los límites de la comunicación suelen estar determinados por la intensidad de la señal recibida en relación con el ruido de fondo. Los aficionados logran comunicarse efectivamente con una relación señal/ruido de unos 6 dB para las comunicaciones de voz en una anchura de banda nominal de 2,4 kHz, y de hasta -6 dB (en la misma anchura de banda) para el código Morse o en modo de datos que utiliza eficazmente el espectro.

Muchos usuarios del servicio de aficionados realizan comunicaciones de recuperación en caso de catástrofe. En muchos países el servicio de aficionados se considera un valioso servicio de reserva en caso de ruptura o sobrecarga de los sistemas de comunicaciones normales. Los Gobiernos dependen de esta capacidad en situaciones de emergencia. Para este objetivo se realizan atribuciones de frecuencias de ondas decamétricas y métricas al servicio de aficionados.

3.2.1.1 Características operativas

Las estaciones de aficionados y las estaciones terrenas de aficionados por satélite no suelen tener frecuencias asignadas, sino que las seleccionan dinámicamente en la banda atribuida utilizando las técnicas de escuchar antes de hablar (LBT, *listen-before-talk*). Los repetidores terrenales, las estaciones de retransmisión digitales y los satélites de aficionados emplean frecuencias seleccionadas a partir de la coordinación voluntaria entre los servicios de aficionados. Algunas de las atribuciones de frecuencias a este servicio son exclusivas de los servicios de aficionados y de aficionados por satélite. Otras muchas atribuciones están compartidas con otros servicios de radiocomunicaciones, y los aficionados conocen las limitaciones de compartición.

Los protocolos operativos varían en función de los requisitos de comunicación y de la propagación. Las bandas de ondas hectométricas y decamétricas se utilizan para la onda ionosférica con incidencia casi vertical (NVIS, *near-vertical-incidence-sky wave*) en trayectos mundiales. Las bandas de ondas métricas, decimétricas y centimétricas se utilizan para las comunicaciones de corto alcance. Los satélites de aficionados pueden utilizar las frecuencias superiores a las ondas decamétricas para las comunicaciones a larga distancia.

3.2.2 Atribuciones de frecuencias al servicio de aficionados

Las atribuciones de bandas de frecuencias a los servicios de aficionados en la gama 1,8-80 MHz varían de una región a otra. En el Cuadro 3-3 se indica la distribución de frecuencias de las atribuciones.

3.2.3 Requisitos de protección del servicio de aficionados en ondas decamétricas

Las estaciones de los servicios de aficionados suelen utilizar relaciones señal/ruido muy bajas. La SNR disponible suele estar limitada por factores ambientales, como la eficiencia de la antena, pero, al estar casi todas estas estaciones en zonas residenciales, la limitación más frecuente es el ruido artificial externo.

CUADRO 3-3

Bandas de frecuencias atribuidas al servicio de aficionados en la gama 3-80 MHz

Frecuencia aproximada (MHz)
1,8
3,5
7
10,1
14
18,1
21
24,9
28
50
70

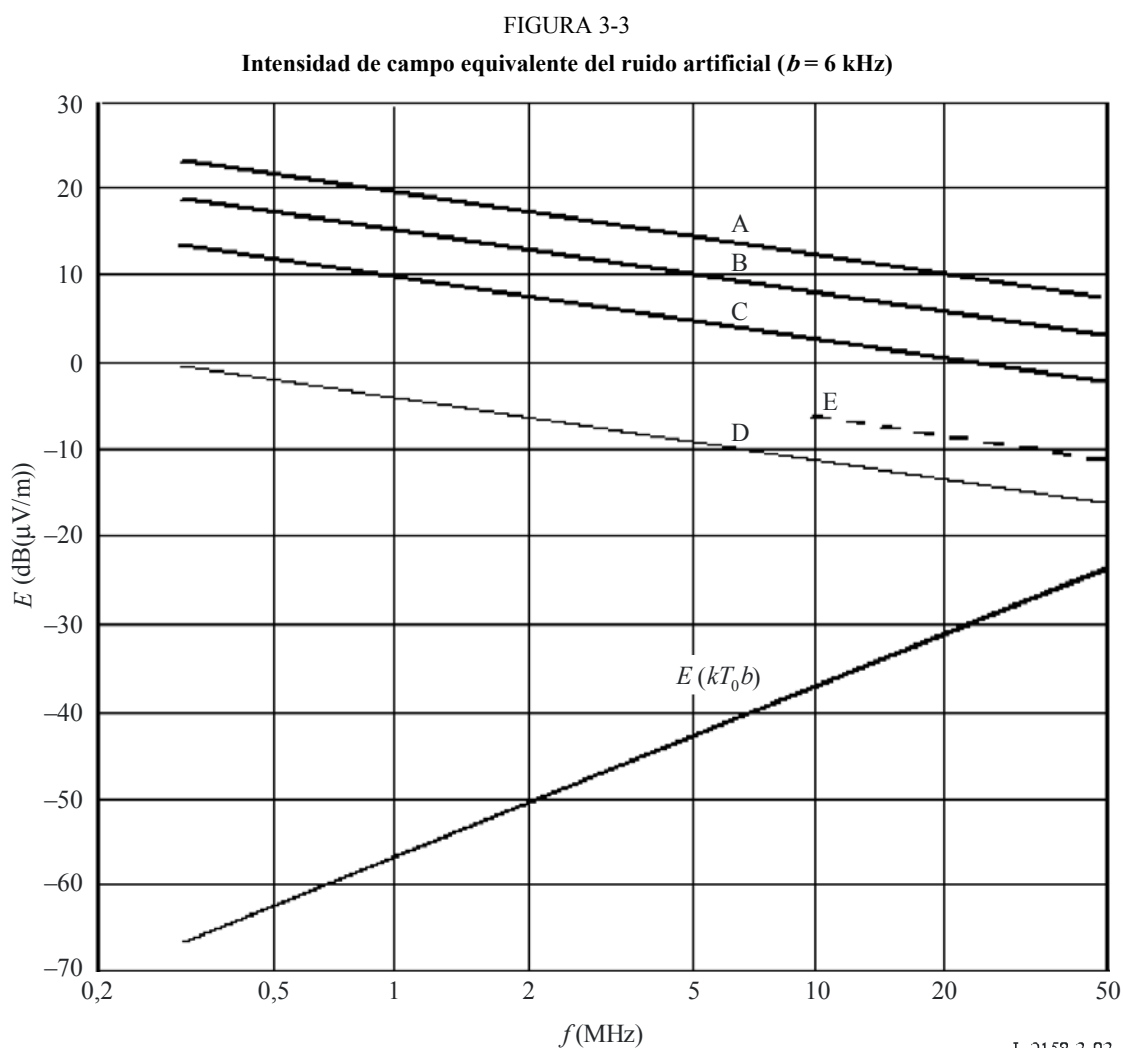
3.2.3.1 Margen de desvanecimiento y criterio de protección de 0,5 dB del servicio de aficionados en ondas decamétricas

En la radiodifusión profesional se tienen en cuenta amplios márgenes de desvanecimiento para garantizar un alto grado de disponibilidad de la señal. Esto, sumado a la menor sensibilidad de los receptores de radiodifusión, hace que la radiodifusión en ondas decamétricas utilice altos niveles de potencia. En el servicio de aficionados, la potencia de transmisión permitida es relativamente baja y en las comunicaciones a larga distancia el margen de desvanecimiento restante por encima de la intensidad de campo mínima requerida de una señal de larga distancia ronda los 0 a 1 dB. Dada la forma de la intensidad de la señal con respecto a la curva temporal de una señal de ondas decamétricas de banda estrecha con desvanecimiento, esto supone que en algunos enlaces de comunicaciones a larga distancia se perderán partes de la transmisión a causa del desvanecimiento, por lo que se tendrán que repetir las transmisiones. Un aumento del ruido de fondo ambiente de sólo unos pocos dB afectaría enormemente a las capacidades de comunicación a larga distancia de una estación de aficionados.

Por este motivo, el aumento máximo permitido de ruido de fondo total causado por las emisiones PLT ha de ser de 0,5 dB. Para que el aumento no sea superior a 0,5 dB, la intensidad de campo de ruido media radiada por la red de alimentación a 10 m de distancia ha de ser 9,14 dB inferior al nivel de ruido preexistente.

3.2.3.2 Ruido de fondo en las bandas de aficionados

Al igual que ocurre en otros servicios en ondas decamétricas, la capacidad para realizar comunicaciones de aficionados satisfactorias depende de la relación entre la señal deseada y el ruido. El ruido está formado por cuatro componentes: ruido del receptor (generado dentro del mismo), ruido atmosférico, ruido artificial y ruido cósmico. La Fig. 3-3 se ha derivado de la Recomendación UIT-R P.372 utilizando un gráfico que representa el rebasamiento durante el 99,5% del tiempo, siendo la anchura de banda de medición 6 kHz, y f la frecuencia (MHz).



I. 2158-3-03

Designación de las curvas: Curva A: Comercial Curva D: Rural tranquilo
Curva B: Residencial Curva E: Cósmico
Curva C: Rural

3.2.3.3 Niveles de ruido de fondo aceptables

De acuerdo con los criterios expuestos en § 3.2.3.1, el aumento aceptable del ruido de fondo generado por la PLT es 0,5 dB superior a las cifras que se derivan del gráfico de la Fig. 3-3. Cabe señalar que este requisito es independiente de la anchura de banda de la señal recibida: a fin de establecer una correlación con la anchura de banda de medición habitual de 9 kHz, es posible aumentar las cifras en 1,8 dB. En el Cuadro 3-4 se enumeran las intensidades de campo aceptables que ha de cumplir una instalación PLT a 10 m. Los resultados para 70 MHz se obtienen por extrapolación de la Fig. 3-3.

CUADRO 3-4

**Requisitos totales de protección basados en el criterio de 0,5 dB –
Intensidad de campo máxima de una instalación PLT a 10 m**

Banda de frecuencias (MHz)	dB(μV/m) en 6 kHz			
	Comercial	Residencial	Rural	Rural tranquilo
1,8	18,5	13,5	8,5	-7,5
3,5	16,5	12,5	5,5	-8,5
7	14,5	9,5	4,5	-9,5
10	12,5	8,5	3,5	-5,5
14	11,5	7,5	2,5	-6,5
18	11	7	2	-7
21	10	6	0,5	-8,5
24	9,5	5,5	0	-9
28	9	5	-0,5	-9,5
50	8,5	4,5	-1,5	-10
70	8	4	-2	-10,5

3.3 Servicio móvil aeronáutico y servicio de radionavegación

Para realizar una evaluación de la compatibilidad es fundamental disponer, como mínimo, de las siguientes características de los servicios de radiocomunicaciones víctimas:

- tipo de servicio;
- gama de frecuencias utilizada;
- intensidad de campo mínima deseada;
- extensión horizontal y vertical de la cobertura operacional designada (DOC, *designated operational coverage*).

En el Cuadro 3-5 puede encontrarse esta información para el servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas, que podría verse interferido por las fugas de radiación de los cables de televisión en la gama de frecuencia superior a 30 MHz.

Muchas estaciones militares en ondas decamétricas están ubicadas en plataformas aéreas, por lo que pueden sufrir interferencia causada por la baja pérdida de propagación de las señales interferentes y la gran distancia al horizonte radioeléctrico (RHD, *radio horizon distance*) de las estaciones en aeronaves.

En el entorno aeroespacial, las radiocomunicaciones en ondas decamétricas son el principal medio de comunicación más allá de la línea de visibilidad directa con aeronaves y plataformas móviles terrestres y marítimas. La información se intercambia por enlaces de voz, mensajes y datos en ondas decamétricas.

Las comunicaciones por ondas decamétricas se utilizan entre el comando en el aire y los elementos de control en tierra, así como entre aeronaves, para el intercambio de datos de control de misión y de vigilancia/detección en amplias gamas, cuando no es posible utilizar otro tipo de comunicaciones por fallos del equipo o interferencias. Las ondas decamétricas también se utilizan para el control del tráfico aéreo (ATC, *air traffic control*) cuando se supera el alcance de las instalaciones de ondas métricas.

CUADRO 3-5

Características de los sistemas aeronáuticos y de radionavegación

Banda de frecuencias	Abreviatura de la aplicación	Tipo de servicio, breve descripción	Cobertura operacional designada	Amenaza de interferencia	Anchura de banda de recepción (kHz)	Intensidad de campo mínima deseada (dB(μV/m))
90-110 kHz	LORAN C			DSL		
255-526,5 kHz	NDB	Balizas no direccionales		DSL		
2,8-22 MHz	Comunicaciones en ondas decamétricas	Comunicaciones en ondas decamétricas		PLT, DSL, CATV		
3 023 kHz	Socorro/emergencia			PLT, DSL		
5 680 kHz	Socorro/emergencia			PLT, DSL, CATV		
74,8-75,2 MHz	ILS/MKR	La baliza marcador del servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA), que pertenece al sistema ILS, proporciona al piloto o sistema de gestión de vuelo (SGV) una señal cuando el avión pasa por determinados puntos fijos durante el acercamiento final y el aterrizaje	Horizontal: un círculo de aproximadamente 100 m de radio alrededor de la posición de la baliza. Vertical: entre 30 m y 1 km, en función de la posición de la baliza. Posición de la baliza: 2 ó 3 puntos en la línea central extendida de la pista, entre 100 m y 7,5 km a partir del umbral	CATV		63

Las comunicaciones por ondas decamétricas se utilizan entre el comando aéreo y los elementos de control y tierra sobre todo como reserva, cuando no están disponibles las capacidades primarias y más altas.

Esto incluye:

- refuerzo de los sistemas de comunicaciones gubernamentales;
- enlaces a elementos Pfp y distintos de los gubernamentales;
- enlaces a entidades móviles/desplegadas;
- enlaces a formaciones tácticas.

En cuanto a las características de sistema y criterios de protección requeridos para los servicios móvil marítima y aeronáutico, no hay un solo documento donde se consolide la información para los sistemas operativos por debajo de 80 MHz. El examen de los textos existentes revela que parte de la información relativa a las características puede encontrarse en las siguientes Recomendaciones: UIT-R M.257*, UIT-R M.488*, UIT-R M.541, UIT-R M.627, UIT-R M.688, UIT-R M.822, UIT-R M.1081, UIT-R M.1082, UIT-R M.1173 y UIT-R M.1458, además de en las disposiciones del RR.

* *Nota de la Secretaría* – Estas Recomendaciones han sido suprimidas el 28/04/2011 (CACE//537).

Por otra parte, no hay ninguna Recomendación formal sobre la protección de los sistemas del servicio móvil marítimo o móvil aeronáutico.

En el Anexo 2.6 se presenta un análisis de compatibilidad que evalúa las posibles interferencias que la suma de los efectos de las fuentes PLT pueden causar a los receptores en aeronaves.

3.3.1 Resultados

El siguiente Cuadro se generó utilizando una metodología similar a la contenida en el Informe UIT-R SM.2057 sobre banda ultraamplia con el límite de tecnología múltiple modificado de 6 dB a 20 dB para tener en cuenta que los sistemas PLT no son radiadores intencionales y, por tanto, en opinión del Grupo de Trabajo 5B sólo debe admitirse el 1% del margen de interferencia.

CUADRO 3.6

Nivel de señal que debe protegerse en la antena de recepción

Sistema	Banda de frecuencias	Emplazamiento del receptor	Mínimo nivel de señal deseada		D/U necesaria (Nota 1)	Anchura de banda del receptor	Margen de seguridad para la aviación	Límite de tecnología múltiple	Nivel de señal que debe protegerse a la entrada de antena
			($\mu\text{V/m}$)	(dBm)	(dB)	(kHz)	(dB)	(dB)	(dBm/Hz)
Radiobaliza no direccional	190-535 kHz	A bordo de aeronave	70	-31	15	2,8	6	20	-107
Comunicaciones en ondas decamétricas	2,85-22 MHz	A bordo de aeronave			15	3	6	20	
		En tierra			15	3	6	20	
Radiobaliza	74,8-75,2 MHz	A bordo de aeronave	1 500	-51	20	22	6	20	-143

NOTA 1 – Los valores indicados en la relación D/U dentro del sistema o en el caso del radar la relación I/N del sistema y se consideran valores provisionales.

3.4 Criterios generales de protección de los servicios fijo y móvil terrestre en ondas decamétricas

En esta cláusula se consideran los requisitos de protección necesarios para garantizar que los servicios de radiocomunicaciones fijos y móviles terrestres en ondas decamétricas, en particular los auxiliares a la radionavegación u otras funciones relacionadas con la seguridad, no sufren interferencias perjudiciales causadas por las instalaciones o redes PLT, como exige el número 15.12 del RR.

Las fuerzas en tierra necesitan las comunicaciones por ondas decamétricas para garantizar que se lleven a cabo las funciones de consulta, comando y control tanto con la OTAN como con las Naciones Pfp. Además, las comunicaciones de la red de radiocomunicaciones de combate en ondas decamétricas se utilizan en primera instancia como medio primario o secundario de comunicación cuando, a causa del terreno, la distancia o la movilidad, no es posible confiar en los sistemas de comunicaciones de zona táctica.

El servicio móvil terrestre se utiliza primordialmente para: la defensa nacional, la imposición de la ley; la gestión y preservación de los recursos nacionales; la búsqueda y el salvamento; y las comunicaciones de emergencia y seguridad en las costas, lagos, bosques, recursos hidrológicos y refugios de fauna nacionales. Las zonas operativas de estos servicios comprenden zonas urbanas, suburbanas y rurales, tanto costeras como del interior. Estas estaciones móviles terrestres suelen operar cerca de líneas de alimentación que pueden utilizar los sistemas PLT.

3.4.1 Criterios de protección y requisitos de protección

3.4.1.1 Criterios de protección

A fin de garantizar las comunicaciones por ondas decamétricas, los criterios de protección se basan en los niveles de ruido térmico, artificial, cósmico y atmosférico definidos en el Anexo 1 al presente Informe.

Degradación de la sensibilidad de 0,5 dB

Por norma general, el criterio de interferencia aceptable se basa en una degradación de la sensibilidad máxima de 0,5 dB. Esto significa que el ruido y la interferencia totales (generados por un sistema PLT) no habrán de estar más de 0,5 dB por encima del ruido total del receptor de ondas decamétricas sin la interferencia PLT.

Dicho de otro modo:

$$(\text{Total } I \text{ y } N) \text{ (dBm/Hz)} < N \text{ (dBm/Hz)} + 0,5$$

donde:

I : interferencia generada por PLT (dBm) en una anchura de banda de 1 Hz

N : ruido del receptor y ruido artificial totales (dBm) en una anchura de banda de 1 Hz.

Se selecciona el criterio de degradación de la sensibilidad de 0,5 dB indicado porque los sistemas de radiocomunicaciones militares funcionan muy próximos a su nivel de sensibilidad.

Parámetros básicos de las radiocomunicaciones en ondas decamétricas necesarios para los cálculos

Los parámetros de las radiocomunicaciones en ondas decamétricas víctimas que se han de conocer son:

- Ruido del receptor: 10 dB
- Ganancia de la antena receptora: 0 dBi⁵
- Ruido térmico: -174 dBm/Hz.

Con este método **no** es necesario conocer otros parámetros de las radiocomunicaciones en ondas decamétricas.

3.4.1.2 Requisitos de protección

A partir de los criterios de protección anteriores, los requisitos de protección de los sistemas de radiocomunicaciones en ondas decamétricas son los siguientes:

- a) el aumento del ruido de fondo y de la interferencia por Hz no superará los 0,5 dB a causa de las emisiones no deseadas de las redes de transmisión por cable (CTN, *cable transmisión networks*), incluidas las emisiones no deseadas de los sistemas PLT;
- b) el nivel de ruido de referencia, en función de la zona, podrá ser el correspondiente a rural tranquilo, rural, residencial o comercial;
- c) se supone que la separación mínima entre el cable y el receptor de ondas decamétricas víctima es de 10 m.

3.4.2 Posibles criterios de protección

Los sistemas PLT utilizan la energía de radiofrecuencias en líneas de transmisión no blindadas y desequilibradas, lo que inevitablemente resulta en radiación de energía RF. La radiación de las redes PLT puede causar interferencia perjudicial a las radiocomunicaciones. Por consiguiente, será necesario imponer límites a las emisiones radiadas para garantizar la protección del servicio fijo en ondas decamétricas con licencia existente.

Los sistemas PLT no se reconocen como una clase de emisión o un servicio y han de considerarse una fuente de radiación extraña.

El criterio de protección propuesto para el servicio fijo en ondas decamétricas contra los sistemas PLT se basa provisionalmente en un objetivo de degradación de la calidad de funcionamiento del 1% para las emisiones no deseadas en comparación con los valores medios de la Recomendación UIT-R F.1094, elaborada por el antiguo GT/9A. Se ha de tener en cuenta el valor de cresta de las emisiones PLT.

También se ha de tomar en consideración el nivel de una señal interferente combinada en la antena receptora con respecto al nivel de ruido rural tranquilo, como se especifica en la Recomendación UIT-R P.372. Determinadas técnicas de reducción, como los procedimientos de aplicación para sistemas PLT, pueden reducir el posible problema de compatibilidad resultante de la utilización de estos objetivos.

⁵ La ganancia de antena de los sistemas de ondas decamétricas suele rondar los 0 dBi. Una ganancia de antena positiva reducirá la influencia relativa del ruido térmico.

3.4.3 Sistemas de establecimiento automático de enlace

La experiencia de misiones militares demuestra que, en ocasiones, las comunicaciones por ondas decamétricas son la única manera de entregar informes de misión y de situación sin retardo y sin peligro de interferencia deliberada de la señal. Además, en caso de explosión nuclear, los enlaces SATCOM quedarán inutilizables. Por el contrario, los enlaces de ondas decamétricas seguirán estando disponibles. Estos enlaces sólo quedarán interrumpidos por un corto periodo de tiempo.

En general, se utilizan sistemas de radiocomunicaciones adaptables que pueden elegir automáticamente las mejores frecuencias de acuerdo con las condiciones de propagación y el caudal de datos máximo, pero únicamente si el *ruido de fondo es suficientemente bajo* (es decir, por debajo del umbral de decisión del sistema). Un nivel de ruido más alto reducirá la calidad de funcionamiento de los sistemas de establecimiento automático de enlace (ALE, *automatic link establishment*), así como la calidad de funcionamiento general de las radiocomunicaciones digitales.

3.5 Servicio móvil marítimo

En esta cláusula se examinan las diversas bandas de frecuencias atribuidas a las comunicaciones marítimas y el servicio móvil marítimo.

3.5.1 Antecedentes

Las radiocomunicaciones marítimas, cuya variedad más importante son las comunicaciones de socorro y seguridad, se basan casi exclusivamente en la utilización de las bandas de frecuencias de ondas hectométricas y decamétricas por las condiciones de propagación únicas de estas bandas.

Las comunicaciones marítimas se definen como un *servicio* en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT. Las comunicaciones pueden establecerse entre las estaciones costeras y los barcos, o entre barcos. Las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las radiobalizas de emergencia también participan en este servicio, que incluye asimismo el servicio de operaciones portuarias y el servicio de movimiento de barcos.

En el número 1.59 del RR se define servicio de seguridad:

«**1.59** *servicio de seguridad:* Todo *servicio de radiocomunicación* que se explote de manera permanente o temporal para garantizar la seguridad de la vida humana y la salvaguardia de los bienes.»

La comunidad marítima también utiliza la *radionavegación*, que también está definida como servicio con atribuciones exclusivas en el RR.

Las modalidades de uso de las radiocomunicaciones marítimas están consignadas en la Constitución y el Convenio de la UIT, complementados por las decisiones de las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR), que se publican en el Reglamento de Radiocomunicaciones. El RR también contiene disposiciones vinculantes para todas las administraciones, que han de tomar las medidas necesarias para proteger estas frecuencias radioeléctricas contra la interferencia perjudicial.

3.5.2 Frecuencias atribuidas a las comunicaciones marítimas

Comunicaciones de socorro y seguridad

En el Apéndice 13 del RR se definen las frecuencias que se han de utilizar para las comunicaciones de socorro y seguridad no SMSSM. Aunque el objetivo era que el sistema SMSSM sustituyera globalmente al Apéndice 13 el 1 de febrero de 1999, se vio que determinadas administraciones y buques no sujetos a SOLAS, el Acuerdo de 1974 enmendado, podrían seguir queriendo utilizar las disposiciones del Apéndice 13 para las comunicaciones de socorro y seguridad durante algún tiempo después del 1 de febrero de 1999.

En los siguientes párrafos se detallan los reglamentos que rigen la protección de las frecuencias de socorro y seguridad.

«Sección II – Protección de las frecuencias de socorro y seguridad»

A – Generalidades

§ 13 Salvo lo dispuesto en el presente Reglamento, se prohíbe toda emisión que pueda causar interferencias perjudiciales a las comunicaciones de socorro, alarma, urgencia o seguridad transmitidas en las frecuencias 500 kHz, 2 174,5 kHz, 2 182 kHz, 2 187,5 kHz, 4 125 kHz, 4 177,5 kHz, 4 207,5 kHz, 6 215 kHz, 6 268 kHz, 6 312 kHz, 8 291 kHz, 8 376,5 kHz, 8 414,5 kHz, 12 290 kHz, 12 520 kHz, 12 577 kHz, 16 420 kHz, 16 695 kHz, 16 804,5 kHz, 121,5 MHz, 156,525 MHz, 156,8 MHz o en las bandas de frecuencia 406-406,1 MHz, 1 544-1 545 MHz y 1 645,5-1 646,5 MHz (véase también el Apéndice 15). Se prohíbe toda emisión que cause interferencia perjudicial a las comunicaciones de socorro y seguridad en cualquiera de las demás frecuencias indicadas en la Sección I de la Parte A2 de este Apéndice y en el Apéndice 15.»

Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos

El Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM) está plenamente definido en el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS, 1974). La Resolución 331 (Rev.CMR-97)* estipula que todos los barcos sujetos al Convenio SOLAS de la OMI deben estar equipados para el SMSSM antes del 1 de febrero de 1999.

Las frecuencias que se han de utilizar para el SMSSM están consignadas en el Apéndice 15 del RR. En el Cuadro 3-6 se muestran las atribuciones de frecuencias a las comunicaciones de socorro y seguridad. Además de las frecuencias indicadas en el Apéndice 15, las estaciones costeras pueden utilizar otras frecuencias adecuadas para la transmisión de mensajes de seguridad.

* Esta Resolución fue posteriormente revisada por la CMR-03 y la CMR-07.

CUADRO 3-7

**Cuadro de frecuencias de socorro y seguridad para el servicio móvil marítimo
por debajo de 30 MHz**

	Socorro			Seguridad	
	DSC	RTP-COM	NBDP-COM	MSI/MSI-HF	AERO-SAR
	kHz	kHz	kHz	kHz	kHz
Ondas hectométricas	2 187,5	2 182,0	2 174,5	490,0	3 023,0
				518,0	
Ondas decamétricas	4 207,5	4 125,0	4 177,5	4 209,5	5 680,0
				4 210,0	
	6 312,0	6 215,0	6 268,0	6 314,0	
	8 414,5	8 291,0	8 376,5	8 416,5	
	12 577,0	12 290,0	12 520,0	12 579,0	
	16 804,5	16 420,0	16 695,0	16 806,5	
				19 680,5	
				22 376,0	
				26 100,5	
				MSI	
				MSI-HF	

Legendas:

AERO-SAR Estas frecuencias portadoras aeronáuticas (de referencia) pueden utilizarse para comunicaciones de socorro y seguridad por las estaciones que participan en operaciones coordinadas de búsqueda y salvamento.

DSC Estas frecuencias se utilizan exclusivamente para llamadas de socorro y seguridad empleando la llamada selectiva digital de acuerdo con el número 32.5 (véanse los números 33.8 y 33.32).

MSI En el servicio móvil marítimo, estas frecuencias se utilizan exclusivamente para las transmisiones por estaciones costeras de información marítima de seguridad (MSI, *maritime safety information*) (incluidos avisos meteorológicos y de navegación e información urgente) destinadas a los barcos, empleando telegrafía de impresión directa de banda estrecha.

MSI-HF En el servicio móvil marítimo, estas frecuencias se utilizan exclusivamente para la transmisión de MSI en alta mar por estaciones costeras con destino a los barcos, empleando la telegrafía de impresión directa de banda estrecha.

NBDP-COM Estas frecuencias se utilizan exclusivamente para el tráfico de comunicaciones de socorro y seguridad utilizando la telegrafía de impresión directa de banda estrecha.

RTP-COM Estas frecuencias portadoras se utilizan para el tráfico de comunicaciones de socorro y seguridad en radiotelefonía.

Frecuencias atribuidas al servicio móvil marítimo

El Cuadro de atribución de bandas de frecuencias (Artículo 5 del RR) que se muestra en el Cuadro 3-7 contiene las frecuencias inferiores a 30 MHz atribuidas exclusivamente al servicio móvil marítimo en la Región 1. Estas frecuencias también se han de proteger contra la interferencia perjudicial en el sentido del número 15.12 del RR.

CUADRO 3-8

Frecuencias atribuidas al servicio móvil marítimo

14-19,95 kHz		2 625-2 650 kHz	19 680-19 800 kHz
20,05-70 kHz	415-495 kHz 505-526,5 kHz	4 000-4 438 kHz	22 000-22 855 kHz
72-84 kHz	1 606,5-1 625 kHz	6 200-6 525 kHz	25 070-25 210 kHz
86-90 kHz	1 635-1 800 kHz	8 100-8 815 kHz	26 100-26 175 kHz
110-112 kHz		12 230-13 200 kHz	
117,6-126 kHz	2 045-2 160 kHz	16 360-17 410 kHz	
129-148,5 kHz	2 170-2 173,5 kHz 2 190,5-2 194 kHz	18 780-18 900 kHz	

3.5.3 Parámetros del receptor para el servicio móvil marítimo en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas

No hay ningún documento donde se reúna toda la información necesaria acerca de las características de sistema y los criterios de protección requeridos para los servicios móvil marítimo y aeronáutico que funcionan en frecuencias inferiores a 80 MHz. El examen de los textos existentes revela que parte de esta información puede encontrarse en las Recomendaciones: UIT-R M.257*, UIT-R M.488*, UIT-R M.541, UIT-R M.627, UIT-R M.688, UIT-R M.822, UIT-R M.1081, UIT-R M.1082, UIT-R M.1173 y UIT-R M.1458, y en disposiciones del RR.

Además, no hay ningún estudio técnico ni Recomendación formal relacionados con los criterios de protección de los servicios móvil marítimo o móvil aeronáutico. Sin embargo, se ha comprobado la siguiente información que puede servir de base para obtener los criterios de protección.

3.5.3.1 Receptores NAVTEX – 424, 490 y 518 kHz

El Informe UIT-R M.910-1 indica los siguientes valores:

- Sensibilidad del receptor = 18 $\mu\text{V/m}$ (25 dB($\mu\text{V/m}$)).
- $S/N = 8$ dB (300 Hz).
- Relación de protección cocanal = 8 dB.

3.5.3.2 Receptores marítimos en las bandas de ondas hectométricas y decamétricas

Las comunicaciones de socorro y seguridad en ondas hectométricas y decamétricas del SMSSM utilizan las siguientes frecuencias:

Llamada selectiva digital (LSD) (kHz)	Radiotelefonía (R/T) (kHz)	Impresión directa en banda estrecha (IDBE) (kHz)
2 187,5	2 182	2 174,5
4 207,5	4 125	4 177,5
6 312	6 215	6 268
8 414,5	8 291	8 376,5
12 577	12 290	12 520
16 804,5	16 420	16 695

* Nota de la Secretaría – Estas Recomendaciones han sido suprimidas el 28/04/2011 (CACE/537).

Información sobre seguridad marítima (MSI) (kHz)	Coordinación con aeronaves del SAR (kHz)	Las comunicaciones generales en ondas hectométricas/decamétricas del SMSSM utilizan las siguientes bandas de frecuencias (kHz)
4 210 6 314 8 416,5 12 579 16 806,5 19 680,5 22 376 26 100,5	3 023 5 650	1 606,5-1 625 1 635-1 800 2 045-2 160 2 170-2 173,5 2 173,5-2 190,5 2 190,5-2 194 2 625-2 850 4 000-4 063 4 063-4 438 6 200-6 525 8 100-8 195 8 195-8 815 12 230-13 200 16 360-17 410 18 780-18 900 19 680-19 800 22 000-22 855 25 070-25 210 26 100-26 175

Relaciones de protección cocanal:

- Radiotelefonía = 9 dB
- Llamada selectiva digital = 12 dB
- Impresión directa en banda estrecha = 16 dB.

La norma ETSI 300 373 contiene los siguientes valores.

Sensibilidad máxima utilizable:

En 1 605-4 000 kHz: 5 dB(μ V)

En 4 000-27 500 kHz: 0 dB(μ V)

Selectividad de señal adyacente:

- 500 Hz +500 Hz: 40 dB (con filtro de banda estrecha)
- 1 kHz, +4 kHz: 40 dB
- 2 kHz, +5 kHz: 50 dB
- 5 kHz, +8 kHz: 60 dB

Constantes de tiempo de control automático de ganancia:

Tiempo de establecimiento = 5 a 10 ms

Tiempo de recuperación = 1 a 4 s

Modulación cruzada:

± 20 kHz: nivel máximo de la señal no deseada = +90 dB(μ V)

Intermodulación:

+70 dB(μ V)

Rechazo de respuesta no esencial:

70 dB

* Norma 300 373 del ETSI.

3.5.4 Sistemas de navegación hiperbólicos

Para su utilización en las bandas 285,4-285,6 kHz, 285,6 y 315 kHz y 405 y 415 kHz (véase el número 466A del RR), la Recomendación UIT-R M.631-1* señala los siguientes valores:

- mínimo nivel de señal recibida deseado = 3 $\mu\text{V/m}$;
- anchura de banda: ± 10 Hz;
- relación de protección cocanal = 20 dB.

Para su utilización en la banda 70-130 kHz (LORAN), la Recomendación UIT-R M.589-3 indica que:

- El valor S/N en el límite de la zona de cobertura es normalmente de -10 dB; por ejemplo si el nivel de ruido esperado es 55 dB($\mu\text{V/m}$), se necesita un mínimo nivel de señal deseada de 45 dB($\mu\text{V/m}$) a través de la zona de cobertura.
- Un valor típico de la relación de protección para el máximo nivel de señal deseada/no deseada es 20 dB, lo que significa que la intensidad de campo no deseado en el receptor Loran-C debe encontrarse por debajo de ~ 25 dB($\mu\text{V/m}$) a fin de evitar la interferencia.

3.5.5 Balizas de radionavegación marítima en las bandas de ondas kilométricas/hectométricas

Para su utilización en la banda de frecuencias 275-415 kHz, las Recomendaciones UIT-R M.823-3 y UIT-R M.588 indican que:

- Las asignaciones de frecuencia a las radiobalizas marítimas se basan en múltiplos de 100 Hz.
- La máxima anchura de banda ocupada permitida en la Región 1 es 230 Hz.
- El receptor funciona con una máxima proporción de bits erróneos de 1×10^{-3} en presencia de ruido Gaussiano para una relación señal/ruido de 7 dB en la anchura de banda ocupada.
- La relación de protección requerida para una señal interferente en el canal es de 15 dB.

3.6 Radiolocalización

El servicio de radiolocalización es un servicio de radiodeterminación utilizado para la detección y localización posicional de objetos distantes (objetivos).

Las frecuencias en la gama de 3 a 50 MHz se emplean para una cierta variedad de usos incluida la vigilancia de zona de aeronave y el movimiento de barcos, la alerta temprana de detección de misiles y las observaciones oceanográficas que proporciona datos sobre la altura de las olas y las condiciones del viento conexas.

3.6.1 Sistemas radares oceanográficos en las bandas de 3 a 50 MHz

En el Cuadro 3.8bis aparecen los requisitos de protección de los diversos sistemas.

3.6.2 Características del sistema

Las siguientes características del sistema se han extraído del Informe UIT-R M.1874.

* *Nota de la Secretaría* – Estas Recomendaciones han sido suprimidas el 28/04/2011 (CACE/537).

CUADRO 3-8bis

Requisitos de protección de los sistemas de radares oceanográficos en las bandas de 3 a 50 MHz

Características de recepción	Sistemas de radares oceanográficos (Recomendación UIT-R M.1874)					
	1 (5 MHz) 2 (13 MHz) 3 (25 MHz) 4 (42 MHz)	5 (8 MHz) 6 (12 MHz) 7 (16 MHz) 8 (25 MHz) 9 (42 MHz)	10 (9,2 MHz)	11 (24,5 MHz)	12 (24,5 MHz)	13 (41,9 MHz)
Tipo de diagrama de antena	Dipolos eléctrico y magnético	Directivo con anchura de haz de $\pm 3^\circ$ a $\pm 15^\circ$	Directivo	Directivo	Directivo	Directivo
Tipo de antena	2 bucles cruzados + monopolo como elemento sencillo	Sistema de monopolos (4-16 elementos)	16 conjuntos de Yagi de 2 elementos	8 conjuntos de Yagi de 3 elementos	8 conjuntos de Yagi de 3 elementos	8 conjuntos de Yagi de 3 elementos
Polarización de la antena	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
Ganancia del haz principal de la antena	5 dBi	10 a 18 dBi	16 dBi	15 dBi	15 dBi	15 dBi
Anchura de haz en elevación de la antena	45°	35°	30°	25°	25°	25°
Anchura de haz acimutal de la antena	$90-360^\circ$	$6-30^\circ$ dependiendo del tamaño del sistema	$8-10^\circ$	15°	15°	15°
Velocidad de exploración horizontal de la antena	Antena fija	Antena fija	Antena fija con conformación de haz digital	Sistema de antenas fijas controladas por fase 60 min por 12 direcciones	Antena fija con conformación de haz digital	Antena fija con conformación de haz digital
Altura de la antena	4 m	$\sim 1/4\lambda$	Punto de alimentación 10 m por encima del nivel del suelo	Punto de alimentación 2-14 m por encima del nivel del suelo	Punto de alimentación 2-14 m por encima del nivel del suelo	2 puntos de alimentación 2-14 m por encima del nivel del suelo
Anchura de banda a 3 dB de la FI	500 Hz	No se utiliza FI (la anchura de banda en banda base es 1 500 Hz)	200 Hz	200 Hz	200 Hz	200 Hz
Factor de ruido	12 dB con impulsos	8 dB	17 dB con impulsos	12 dB con impulsos	12 dB con impulsos	13 dB con impulsos
Máximo valor tolerable inicial de la interferencia	-147 dBm	-142 dBm	-157 dBm	-162 dBm	-162 dBm	-161 dBm
Anchura de banda de resolución	500 Hz	1 500 Hz	1 Hz	1 Hz	1 Hz	1 Hz

NOTA 1 – El valor tolerable inicial de la interferencia se especifica para el nivel combinado procedente de todas las fuentes de interferencia y, en consecuencia, será necesario establecer un factor de distribución.

3.7 Servicio fijo

Las actividades de inteligencia de señal (SIGINT, *signal intelligence*) son importantes para el sector militar. Por consiguiente, el ejército realiza escuchas de señales (muy débiles) y esta actividad puede verse perturbada por interferencias de bajo nivel.

Las estaciones de radiocomunicaciones por ondas decamétricas militares también están alimentadas por líneas eléctricas. El sistema de alimentación puede no estar provisto de filtros especiales para eliminar las señales en ondas decamétricas. Es posible que no se puedan filtrar las señales PLT de las líneas de alimentación.

3.7.1 Características de los sistemas fijos

El examen de los textos existentes revela que parte de la información sobre las características de estos sistemas se recoge en las Recomendaciones UIT-R F.758 y UIT-R F.764, partes de las cuales han quedado obsoletas y han de revisarse o eliminarse durante el actual ciclo de estudios del UIT-R, y en disposiciones del RR. Además, en la Recomendación UIT-R F.339 se presenta información sobre las anchuras de banda, las relaciones señal/ruido y los desvanecimientos permisibles para todas las características de los sistemas de ondas decamétricas.

3.7.2 Criterios de protección

Se puede tener en cuenta el nivel de una señal interferente combinada en la antena receptora con respecto al nivel de ruido rural tranquilo, como se especifica en la Recomendación UIT-R P.372, aunque no hay estudios técnicos ni Recomendaciones formales relativos a los criterios de protección de los sistemas del servicio fijo en ondas decamétricas.

Se suele optar por un análisis determinístico a la hora de considerar la protección de un servicio fijo primario en la gama de ondas decamétricas contra la interferencia causada por aplicaciones de comunicaciones con transmisión de datos a alta velocidad que utilizan el cableado de alimentación eléctrica.

3.8 Radioastronomía

Los niveles umbral de interferencia prejudicial para el funcionamiento del servicio de radioastronomía (SRA) pueden encontrarse en la Recomendación UIT-R RA.769. Como se indica en esa Recomendación, los valores representan el nivel umbral perjudicial para las observaciones típicas utilizando un tiempo de integración (de observación) de 2 000 s y una ganancia de antena de 0 dBi. En la Recomendación UIT-R SA.509 se presenta el diagrama de ganancia de antena de las antenas de radioastronomía.

El servicio de radioastronomía (SRA) tiene atribuidas las frecuencias 13,36-13,41 MHz y 25,55-25,67 MHz a título primario. En términos de potencia interferente de entrada total en las bandas, el nivel umbral de interferencia indicado en la Recomendación UIT-R RA.769 es de -185 dBW y -188 dBW, respectivamente, y la densidad de flujo de potencia espectral correspondiente en esas bandas es de -248 y -249 dB(W/(m² · Hz)).

En el Cuadro 3-8 se presentan todas las bandas de frecuencias por debajo de 80 MHz que en la actualidad están atribuidas al servicio de radioastronomía, y que éste utiliza intensivamente, y además se reproducen los criterios de protección para la gama de frecuencias donde puede haber señales de cable. Estos criterios están determinados en la Recomendación UIT-R RA.769.

La protección de las bandas de esta gama es de capital importancia para el futuro de la radioastronomía, habida cuenta de que se están construyendo radiotelescopios de nueva generación como el MWA, el eVLA, la matriz de baja frecuencia (LOFAR, *low frequency array*) y la matriz de kilómetro cuadrado (SKA, *square-kilometer array*).

CUADRO 3-9

Banda de frecuencias (MHz)	Categoría de atribución en la Atribución Común Europea (ACE)	Anchura de banda de referencia para las emisiones no esenciales (MHz)	Nivel de interferencia perjudicial (observaciones del continuo) (dB(μV/m))	Nivel de interferencia perjudicial (observaciones de línea espectral) (dB(μV/m))
13,36-13,41	Primaria compartida (5.149)	0,05	-55,2	
25,55-25,67	Primaria (exclusivamente pasiva) (5.149)	0,12	-53,2	
37,5-38,25	Secundaria (5.149)		-50,2	
73,0-74,6	Secundaria (5.149)	1,60	-50,2	

NOTA 1 – El número 5.149 del RR establece para las bandas 13,36-13,41 MHz, 25,55-25,67 MHz, 37,5-38,25 MHz y 73,0-74,6 MHz que «Se insta a las administraciones a que [...] tomen todas las medidas posibles para proteger el servicio de radioastronomía contra la interferencia perjudicial. Las emisiones desde estaciones a bordo de vehículos espaciales o aeronaves pueden constituir fuentes de interferencia particularmente graves para el servicio de radioastronomía».

3.9 Servicio de frecuencias patrón y señales horarias

El Grupo de Trabajo 7A del UIT-R señala que los análisis de interferencia pueden no predecir con exactitud los efectos de la posible interferencia PLT en servicios especializados, como la recepción de frecuencias patrón y señales horarias por parte de los relojes radiocontrolados.

El Cuadro 3-10 está derivado del Cuadro del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.1138.

CUADRO 3-10

Propiedades del servicio de frecuencias patrón y señales horarias

Descripción de la emisión	Anchura de banda necesaria		Designación de la emisión
	Fórmula	Cálculo simple	
1 Alta frecuencia (voz)			
Anuncios vocales, banda lateral doble	$B_n = 2M$	Voz $M = 4\ 000$ Anchura de banda: 8 000 Hz = 8 kHz	8K00A3XGN
2 Alta frecuencia (ráfagas de tono)			
Tickets utilizados para la medición de instantes	$B_n = 2/t_R$	$t_R = 1\ \text{ms}$ Anchura de banda: 2 000 Hz = 2 kHz	2K00K2XAN
3 Alta frecuencia (código de tiempo)			
Código de tiempo como telegrafía	$B_n = BK + 2M$	$B = 1/\text{s}$ $M = 1$ $K = 5$ Anchura de banda: 7 Hz	7H00A2XAN

CUADRO 3-10 (*Fin*)

Descripción de la emisión	Anchura de banda necesaria		Designación de la emisión
	Fórmula	Cálculo simple	
4 Baja frecuencia (código de tiempo)			
Código de tiempo extreme utilizado para la medición de instantes	$B_n = 2/t_R$	$t_R = 1 \text{ ms}$ Anchura de banda = 2 000 Hz = 2 kHz	2K00K2XAN
Código de tiempo como telegrafía	$B_n = BK + 2M$	$B = 1/\text{s}$ $M = 1$ $K = 3$ Anchura de banda: 5 Hz	5H00A2XAN

4 Posibilidades de prevención o eliminación de la interferencia

Para prevenir la interferencia, la Administración de Japón decidió en octubre de 2006 permitir únicamente la PLT doméstica, es decir, no permitir la PLT de acceso.

Otra manera de prevenir o, al menos, reducir de manera suficiente la interferencia es definir límites de emisión adecuados para los sistemas y dispositivos PLT hasta un nivel lo bastante bajo para garantizar la protección de los servicios de radiocomunicaciones o de radioastronomía.

Los sistemas de alimentación eléctrica pueden diseñarse para la transmisión de datos a alta velocidad con un blindaje de radiación completa, filtros de bloqueo RF en los puntos de transición u otros elementos.

4.1 Factores y métodos de reducción de la interferencia para las comunicaciones por líneas eléctricas

En todo el mundo está creciendo la demanda y utilización del acceso en banda ancha a Internet y los sistemas PLT pueden ser un medio para lograr tal acceso, pero se trata de sistemas que involuntariamente emiten radiación RF, que puede causar interferencia a los receptores de radiocomunicaciones.

Los sistemas PLT pueden emplear para transportar señales de comunicación el cableado de baja tensión interior de las casas, el cableado de baja tensión exterior (aéreo o enterrado), el cableado de media tensión exterior, o una combinación de los anteriores.

Algunos receptores de radiocomunicaciones, como los receptores de radiodifusión por ondas decamétricas con antenas internas, que utilizan un cable eléctrico como parte del subsistema de antena, pueden sufrir interferencias causadas por las emisiones conducidas, pero el trayecto de acoplamiento de la interferencia causada a la mayor parte de los demás receptores víctimas puede ser el de las emisiones radiadas.

Al adoptar los reglamentos aplicables a la PLT, las administraciones nacionales sólo pueden confiar en los límites de los niveles de emisión para proteger contra la interferencia, o pueden aplicar una combinación de límites de emisión y factores de reducción. En esta cláusula se ofrecen orientaciones sobre los factores de reducción que pueden considerar las administraciones nacionales.

4.1.1 Atenuación de las señales conducidas

Una de las principales preocupaciones de algunas administraciones es la protección de los receptores de radiodifusión por ondas decamétricas de los apartamentos o las casas, cuando el vecino del apartamento o la casa adyacente utiliza la PLT. En este caso, las emisiones conducidas serán el mecanismo de acoplamiento de interferencia primario.

Algunos estudios incluyen mediciones que muestran que la atenuación de las señales PLT, procedentes de un enchufe en los locales del cliente, sometidas a un contador o un panel disyuntor, es del orden de 30 dB a 40 dB. Se entiende que esto se debe a una combinación de la pérdida causada por el contador mismo, más el comportamiento eléctrico complejo de la red eléctrica interior. Se ha visto que los contadores eléctricos que contienen circuitos electrónicos para el control y la supervisión a distancia atenúan las señales PLT en hasta 20 dB en algunas frecuencias, y que la dependencia en la frecuencia de la atenuación es bastante compleja. Por consiguiente, en un edificio de apartamentos donde un vecino utiliza la tecnología PLT y el vecino adyacente posee un receptor de radiodifusión por ondas decamétricas conectado a la red principal de alimentación, la atenuación total de las señales PLT conducidas puede oscilar entre 60 y 80 dB de un vecino a otro.

Estos resultados pueden no ser aplicables a todos los países, habida cuenta de las variaciones en los métodos de construcción y la configuración de la red eléctrica. Por ende, a la hora de considerar si tener o no en cuenta esta atenuación como factor de reducción durante el proceso de adopción de la regulación nacional, las administraciones deberán estudiar la atenuación en edificios típicos de su país.

Además, la atenuación puede aumentarse añadiendo un filtro a la red de alimentación eléctrica. Un filtro de este tipo puede insertarse entre el enchufe del cable de alimentación del receptor de radiocomunicaciones y el enchufe mural al que está conectado. Dado que la configuración física de enchufes macho y hembra varía de un país a otro, las administraciones habrán de estudiar la viabilidad de este método de reducción y la disponibilidad de tales filtros en cada país. Puede encontrarse más información sobre la distancia de separación en § A3.5.

4.1.2 Exclusiones de bandas de frecuencias

Las administraciones pueden exigir que los sistemas PLT excluyan determinadas bandas de frecuencias (que no sitúen frecuencias portadoras en ellas). Este requisito sólo podrá aplicarse al cableado de media tensión exterior aéreo, al cableado de media y baja tensión exterior o al cableado subterráneo (baja tensión o media tensión).

Por ejemplo, una administración ha impuesto este requisito a determinadas bandas entre 2 MHz y 22 MHz, así como a la banda 74,8-75,2 MHz. De esta manera se protegen las bandas atribuidas a los servicios móvil aeronáutico y de radionavegación que se utilizan para la prestación de servicios aeronáuticos de seguridad de la vida humana. En este caso, el requisito sólo se aplicó al cableado de media tensión exterior aéreo y no al de baja tensión o al de media tensión subterráneo.

4.1.3 Zonas geográficas de exclusión

Las administraciones pueden prohibir a los operadores PLT que utilicen determinadas bandas de frecuencias a una distancia especificada de estaciones de radiocomunicaciones con licencia de determinados servicios.

Por ejemplo, una administración ha prohibido que las PLT utilicen la banda de frecuencias 2,1735-2,1905 MHz (banda de socorro marítimo mundial) en un radio de un kilómetro a partir de 110 estaciones radiomarítimas designadas. También ha prohibido a los operadores PLT utilizar la banda 73,0-74,6 MHz (frecuencias de radioastronomía) en un radio de 65 km a partir de un observatorio de radioastronomía (RA) (aplicable sólo a la media tensión aérea) o un radio de 47 km

a partir del observatorio RA (aplicable a la media tensión subterránea y las líneas de baja tensión aéreas).

Estos reglamentos basados en la distancia podrían aplicarse a las empresas que explotan sistemas PLT para dar servicio de acceso a Internet, pero no a las redes domésticas que utilizan equipos PLT propios del cliente.

La distancia a partir de la cual los sistemas PLT pueden causar interferencia perjudicial depende en gran medida de factores como las características de la red de alimentación local y el diseño y topología del sistema PLT en cuestión. Dado que estos factores varían mucho de un lugar a otro, las conclusiones extraídas para un sistema y configuración no se pueden aplicar fiablemente a otros casos distintos. Las administraciones habrán de cuidarse de adoptar decisiones reglamentarias basándose únicamente en análisis que reflejen con exactitud la situación nacional.

4.1.4 Requisitos de zona de consulta

A fin de detectar y reducir la interferencia más eficazmente, las administraciones podrán requerir a los operadores de sistemas PLT que presenten con antelación información sobre las instalaciones a determinados detentores de licencias de servicios de radiocomunicaciones.

Por ejemplo, una administración exige a los operadores PLT que, con 30 días de antelación, comuniquen información sobre sus instalaciones, si atañen a las siguientes bandas de frecuencias y ubicaciones:

- en la banda 1,7-30 MHz, si se encuentran a una distancia igual o inferior a 4 km de determinadas estaciones de comprobación técnica de las administraciones y unas 60 estaciones de radiocomunicaciones por ondas decamétricas aeronáuticas y terrestres;
- en la banda 1,7-80 MHz, si se encuentran a una distancia igual o inferior a 4 km de unos 16 emplazamientos de radioastronomía;
- en la banda 1,7-30 MHz, si se encuentran a una distancia igual o inferior a 37 km de tres emplazamientos receptores de radar especificados;
- en la banda 1,7-80 MHz, si se encuentran a una distancia igual o inferior a 1 km de determinados emplazamientos de la administración;
- a los coordinadores de frecuencias de la policía, los bomberos y las urgencias médicas con licencia para explotar servicios de radiocomunicaciones móviles en la zona.

Para las operaciones planificadas dentro de las zonas de consulta definidas, los operadores PLT han de facilitar la siguiente información:

- 1) nombre del operador PLT;
- 2) frecuencias del funcionamiento de la PLT;
- 3) códigos postales de la zona de servicio del funcionamiento de la PLT;
- 4) fabricante y tipo de equipo PLT que se va a implantar;
- 5) punto de contacto para información (teléfono y dirección de correo electrónicos); y
- 6) fecha propuesta o definitiva de inicio del funcionamiento de la PLT.

4.1.5 Técnicas de reducción de la interferencia adaptable

Las administraciones pueden exigir a los operadores PLT que utilicen equipos con técnicas de reducción de la interferencia adaptable controladas por el operador. De este modo se permitiría a los operadores PLT limitar o reducir la intensidad de la señal para reducir la interferencia en determinados emplazamientos y bandas de frecuencias concretos, cuando tengan conocimiento de la misma. Las administraciones pueden exigir ranuras de reducción de emisiones en una cuantía fija (por ejemplo, 10 dB o 20 dB) por debajo de los límites de emisión aplicables.

También se pueden crear equipos PLT que detecten la señales de determinados servicios de radiocomunicaciones y de manera adaptable apliquen automáticamente las ranuras para proteger a dichas señales. De ser viables tales equipos, las administraciones podrían especificar los servicios de radiocomunicaciones o bandas de frecuencias que se han de proteger de esta manera.

Las administraciones también pueden exigir a los operadores PLT que utilicen equipos que dispongan de la característica de cese de transmisión RF con control a distancia para desactivación de cualquier unidad cuando se constate que causa interferencia perjudicial.

4.1.6 Procedimientos de reclamación por interferencia

Las administraciones han de asegurarse de que existen procedimientos para la presentación de reclamaciones por interferencia PLT y la respuesta a las mismas.

Por ejemplo, en primer lugar el reclamante habrá de seguir los pasos necesarios para confirmar que existe la interferencia y que está causada por un sistema PLT. El reclamante deberá notificarlo al operador PLT. El operador PLT realizará una investigación dentro de un plazo razonable para el servicio que sufre la interferencia. Por ejemplo, pueden darse al operador PLT 24 h para investigar las reclamaciones de detentores de licencias de seguridad pública, pero algo más de tiempo para investigar la interferencia causada a los servicios de radiodifusión por ondas decamétricas. Si la interferencia no se puede reducir así, el detentor de licencias habrá de presentar una reclamación al organismo estatal correspondiente, que a su vez asignará sus recursos técnicos y jurídicos a la reducción de la interferencia.

4.1.7 Base de datos del operador PLT

Las administraciones pueden exigir a los operadores PLT que creen una base de datos de acceso público con las operaciones PLT a fin de poder reducir más eficazmente la interferencia. Esta base de datos podría estar gestionada por una asociación industrial, por la administración misma o por un tercero independiente. La base de datos, por ejemplo, podría contener la siguiente información:

- 1) nombre del operador PLT;
- 2) frecuencias operativas de la PLT;
- 3) códigos postales de la zona de servicio PLT;
- 4) fabricante y tipo de equipo PLT que se utiliza;
- 5) punto de contacto para información (teléfono y dirección de correo electrónico); y
- 6) fecha propuesta o definitiva de inicio de la operación PLT.

El administrador de la base de datos no desempeñará función alguna en la tramitación de las reclamaciones por interferencia o las investigaciones, aunque la información de la base de datos pueda utilizarse para estas últimas.

4.2 Estudios sobre las técnicas de reducción de la interferencia

4.2.1 Estudio sobre las técnicas de reducción de la interferencia en Brasil

4.2.1.1 Introducción e información general

En esta cláusula se presentan los resultados obtenidos de las mediciones *in situ* realizadas para los sistemas de telecomunicaciones de banda ancha por líneas eléctricas (PLT) facilitados por la Administración de Brasil. Las pruebas se realizaron para evaluar la eficacia de las técnicas de reducción de la interferencia aplicadas a los sistemas PLT de segunda generación. Se tuvieron en cuenta la interferencia radioeléctrica y los niveles de emisiones radiadas por la red. Estas emisiones

se compararon con los límites determinados por la Recomendación UIT-T K.60⁶ y con los límites fijados por otra administración.

4.2.1.2 Configuración de la prueba

Se realizaron pruebas en una instalación de líneas aéreas de baja tensión típica de 240 m de longitud. La red está formada por postes de iluminación pública, de manera que quedara minimizado el ruido producido por motores y dispositivos eléctricos.

El método aplicado es conforme con la Recomendación UIT-T K.60⁶ y los procedimientos de FCC 04-245.

A fin de obtener las lecturas más altas de las emisiones perturbadoras, el equipo PLT se configuró al nivel máximo de potencia de salida (unos -58 dBm/Hz) para maximizar las emisiones perturbadoras.

Se utilizaron una antena de bucle calibrada, un trípode y un analizador de espectro para medir la componente magnética de las emisiones radiadas por debajo de 30 MHz (de conformidad con el procedimiento de medición de la Recomendación UIT-T K.60, también se podía haber utilizado un detector de cuasi-cresta CISPR 16-1-1 en lugar del analizador de espectro). La configuración se ilustra en la Fig. 4-1.

FIGURA 4-1

Red de distribución y antena de bucle



I. 2158-4-01

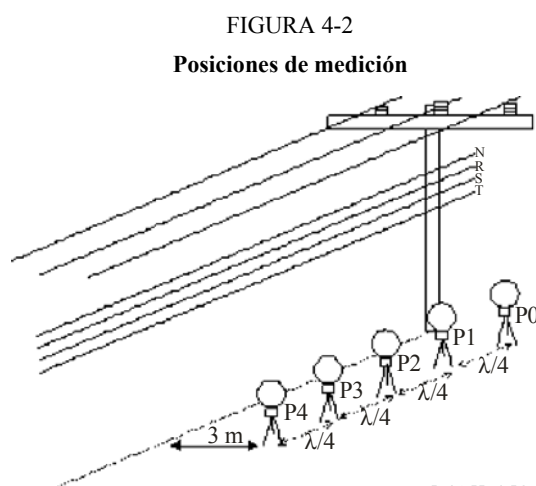
El analizador de espectro se configuró a una anchura de banda de resolución (RWE, *resolución bandwidth*) de 9 kHz con un detector de cresta. La comparación de estos valores con los obtenidos con el detector de cuasi-cresta arroja una diferencia de menos de 4 dB.

⁶ Cláusula 1 (Alcance) de la Recomendación UIT-T K.60 – Niveles de las emisiones y métodos de prueba de redes cableadas de telecomunicaciones para reducir las perturbaciones electromagnéticas del servicio radiofónico (2008-02): «El objetivo de esta Recomendación es orientar a las administraciones a la hora de tramitar reclamaciones por interferencia entre sistemas de telecomunicaciones y no pretende establecer requisitos de conformidad o recomendaciones para la protección del espectro radioeléctrico.»

Las mediciones se realizaron a una distancia de separación horizontal de 3 m. La distancia se tomó como una línea recta desde la proyección de la línea eléctrica al nivel del suelo al punto de referencia de la antena de medición.

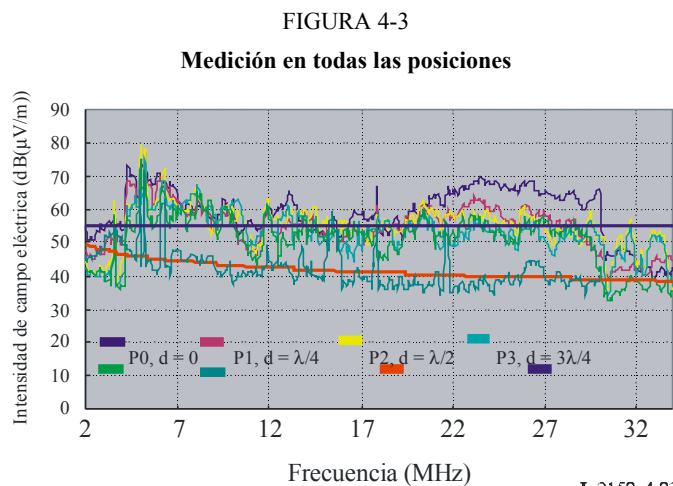
Como se ve en la Fig. 4-2, la prueba se realizó a lo largo de la línea desde el punto de inyección PLT con un espaciamiento de longitud de onda de 0, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y 1, a partir de la frecuencia media de la banda utilizada por el equipo. Las posiciones corresponden a los puntos P0, P1, P2, P3 y P4, respectivamente.

En cada posición se tomaron tres medidas: una para cada orientación de la antena de bucle magnético para evaluar las tres componentes de campo ortogonales.



I. 2158-4-02

La Fig. 4-3 muestra que, cuando el equipo se configura para que utilice la máxima potencia inyectada, el campo eléctrico está muy por encima de los límites de cuasi-cresta fijados por una administración. Se aplicó una corrección de distancia al valor límite, de acuerdo con el factor de extrapolación adoptado por una administración (véase el Anexo 3.6). Al efectuar un barrido del espectro con y sin PLT, se puede ver que la señal PLT interfiere con los servicios existentes. Sin embargo, se reduce considerablemente la potencia radiada cuando se desciende la línea a partir del punto de inyección.



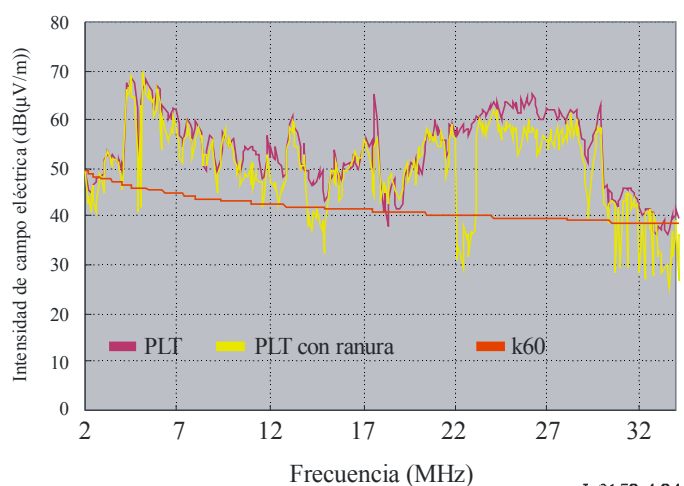
I. 2158-4-03

En cuando a la reducción de la interferencia, se analizaron tres configuraciones.

4.2.1.3 Filtros de ranura

En un primer momento, los filtros de ranura se configuraron para atenuar el nivel de la señal en bandas de frecuencias predeterminadas. En la Fig. 4-4 se pueden ver tres ranuras en las bandas 4,8-4,9 MHz, 14-15 MHz y 22-23 MHz. En las tres gamas la intensidad de la emisión desciende por debajo de los niveles indicados en la Recomendación UIT-T K.60⁶. Además, la demodulación de la señal radioeléctrica confirma la eficacia de esta técnica de reducción de la interferencia en las bandas de exclusión predeterminadas.

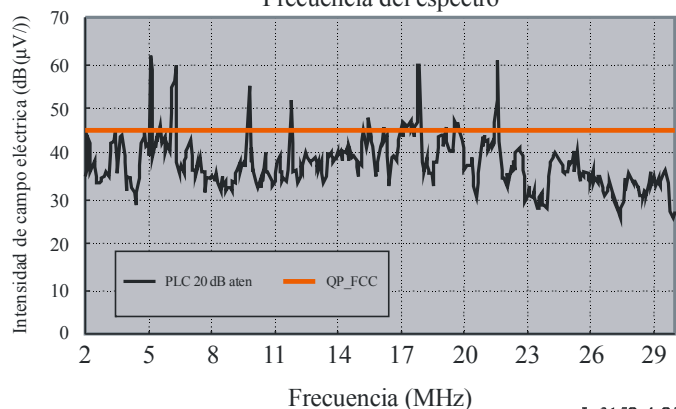
FIGURA 4-4
Medición con ranuras



4.2.1.4 Reducción de la potencia

Por último, se atenuó la potencia inyectada hasta que la emisión radiada alcanzó los límites de la FCC. Esta prueba se realizó en una pequeña sección de la red, donde era factible utilizar distancias de medición de 10 m. En la Fig. 4-5 se muestra un pequeño incremento del ruido de fondo debido a la PLT. Los picos representan las señales RF que no se vieron afectadas por las emisiones PLT.

FIGURA 4-5
Medición a 10 m
Frecuencia del espectro



4.2.1.5 Conclusión

Las pruebas demuestran que la aplicación de técnicas de reducción de la interferencia, como los filtros de ranura y el control de potencia de salida, deberían proteger eficazmente los sistemas de ondas decamétricas.

Habida cuenta de los resultados de las pruebas, la falta de infraestructura para ofrecer acceso en banda ancha y la necesidad de fomentar la inclusión digital, la Administración de Brasil está estudiando la reglamentación, las normas y los requisitos necesarios para permitir la coexistencia de los sistemas PLT, que utilicen las líneas eléctricas de baja tensión (LV) y de media tensión (MV) en la banda de frecuencias 1 705 kHz-50 MHz, con los sistemas de ondas decamétricas con licencia.

4.2.2 Efectos de la intermodulación sobre la profundidad de las ranuras de espectro en los sistemas PLT

La interferencia causada a estaciones de los servicios de aficionados y de aficionados por satélite por los sistemas PLT en las gamas de ondas decamétricas ha llevado a concebir una técnica de reducción de la interferencia conocida como ranurado espectral. Sin embargo, las mediciones han demostrado que los efectos de intermodulación en otros equipos conectados al cableado de la red eléctrica pueden disminuir significativamente la eficacia de este método.

4.2.2.1 Técnica de medición

Se estableció un montaje de dos dispositivos PLT para que se comunicasen entre sí, con una red de estabilización de impedancia de línea alimentando a una unidad denominada «remota»: los 20 dB de atenuación en RF simulan un PLT remoto situado en otra sala. Por consiguiente, el PLT remoto sólo aporta una pequeña contribución a la emisión medida. Los dispositivos reciben el nombre de adaptadores de línea de potencia (PLA, *power line adaptor*).

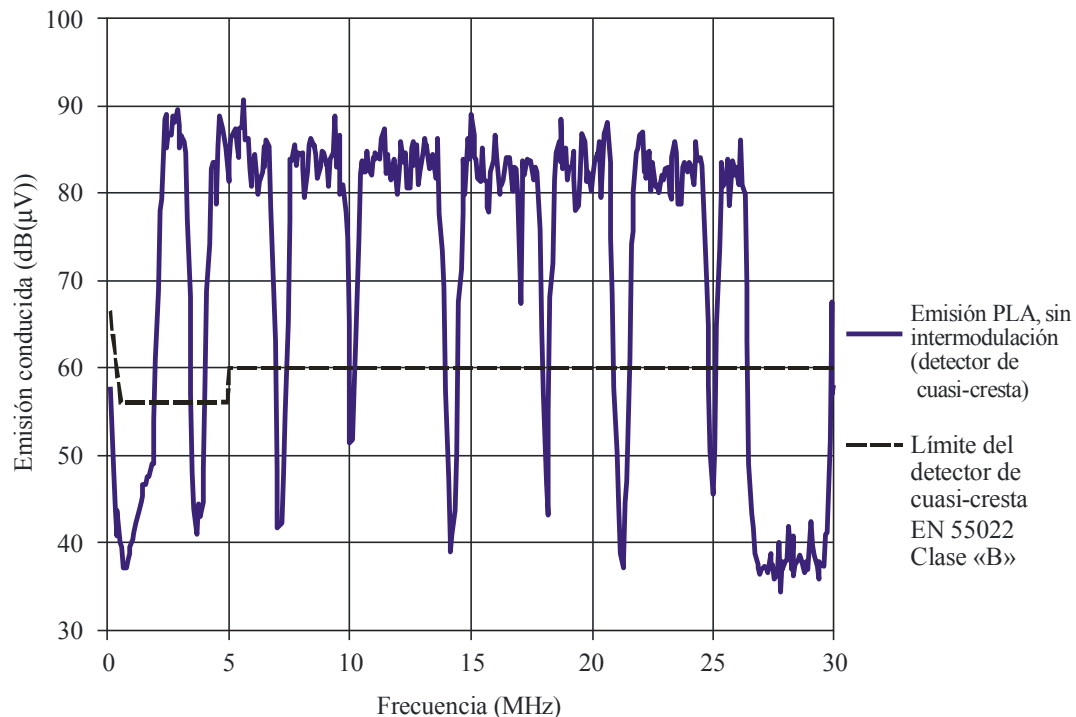
Los PLA local y remoto se comunican pero no se envían datos. Se efectuaron mediciones para 400 frecuencias puntuales con una anchura de banda de medición de 9 kHz y un detector de cuasi-cresta. Los resultados aparecen reflejados en la Fig. 4-6, mostrando también a efectos comparativos el gráfico relativo al detector de cuasi-cresta EN55022 Clase B a un límite de 60 dB(μ V).

Debido al tamaño del paso de frecuencia, las ranuras más estrechas tales como las de las bandas de aficionados de 10 MHz, 18 MHz y 24 MHz no se representan, con toda su profundidad pero todas tienen al menos 30 dB de profundidad y algunas presentan más de 40 dB de profundidad en el centro.

Se conectó a la red eléctrica un dispositivo no lineal mediante el circuito representado en la Fig. 4-7. Esto es muy similar al examen de un cierto número de pequeñas fuentes de alimentación: existen variaciones en los valores de los componentes entre los diversos modelos.

FIGURA 4-6

Espectro con ranuras espectrales



I. SM2158-4-06

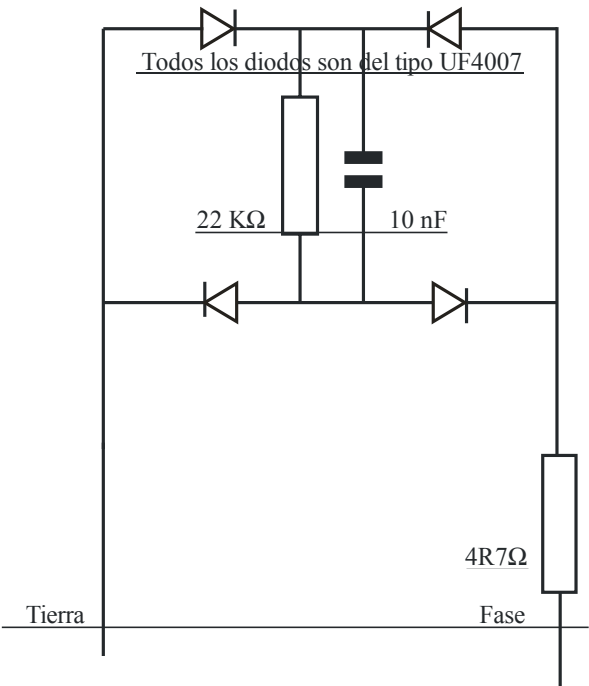
4.2.2.2 Resultados

La Fig. 4-8 muestra el efecto que tiene la conexión del rectificador representado en la Fig. 4-7 a un conector de red adyacente. Puede observarse que la profundidad de las ranuras de 3,5, 14, 18, 21, 24 y 28 MHz se reduce a unos 20 dB. También se produce un incremento significativo de los productos fuera de banda con amplitud de cresta significativamente superior al nivel de cuasi-cresta. El aumento en las emisiones en la gama 0,5-2 MHz incluye la banda de aficionados de 1,8 MHz y la banda de radiodifusión en ondas hectométricas. También aumentan las emisiones por encima de 27 MHz, lo cual podría afectar a las bandas de aficionados de 28 MHz y 50 MHz, aunque las emisiones por encima de 30 MHz no se muestran en dicha Fig. 4-8.

La Fig. 4-9 es el resultado de superponer las Figs. 4-6 y Fig. 4-8.

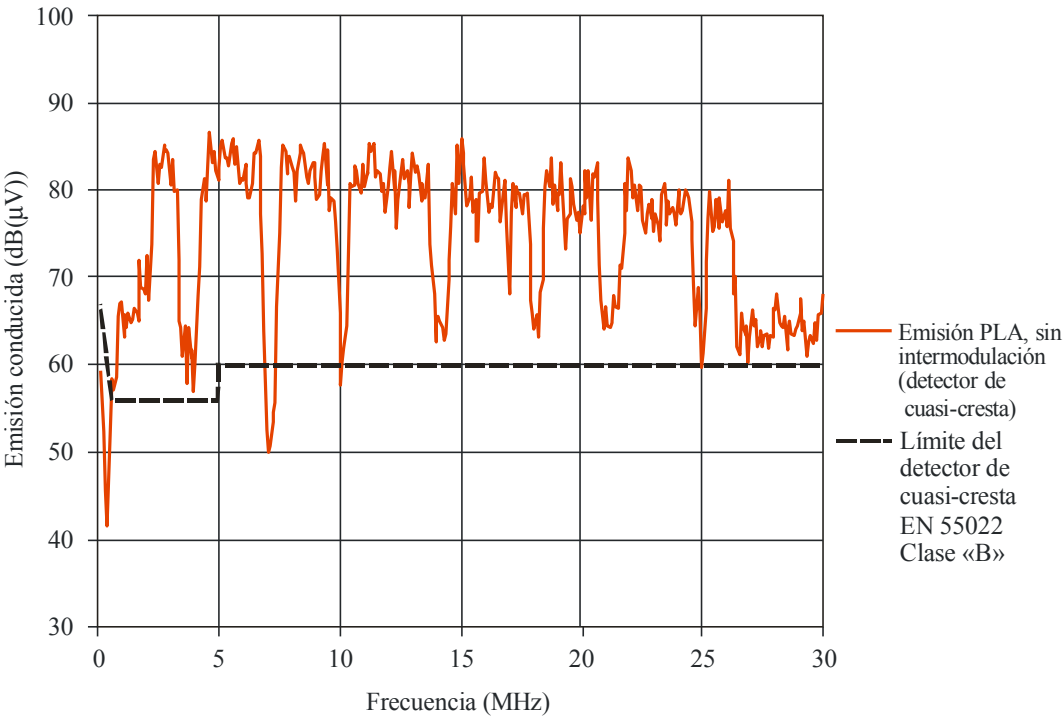
Se desactivó un pequeño conector de red en modo conmutación en la unidad de alimentación y se observó que la parte del rectificador era similar a la Fig. 4-7, aparte de un condensador de aplanamiento de mayor valor y diferentes diodos. La entrada a la red se conecta directamente al rectificador de puente a través de una resistencia de $5,6 \Omega$ y el filtrado de la interferencia de RF se realiza tras el rectificador. Ello significa que las señales de RF procedentes de un PLA cercano pueden atacar directamente al rectificador de puente y cualquier producto de intermodulación y armónicos generados por el rectificador de puente puede entrar directamente en la red.

FIGURA 4-7
Pequeña fuente de alimentación simulada



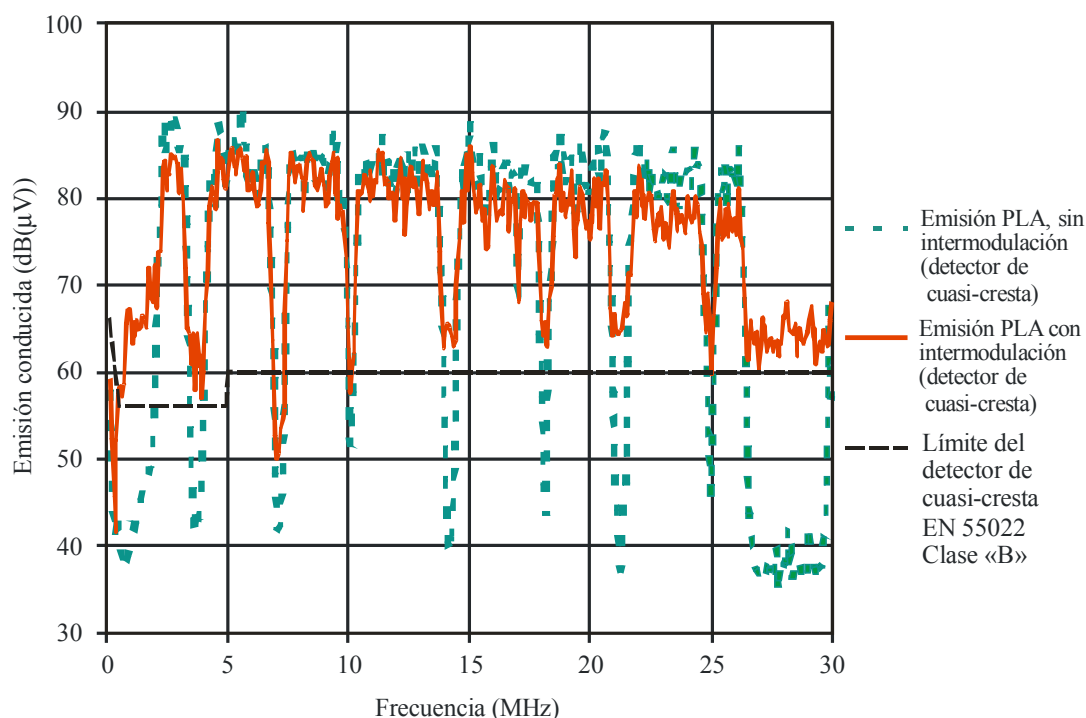
I. SM2158-407

FIGURA 4-8
Efectos de la intermodulación en las ranuras



I. SM2158-408

FIGURA 4-9
Superposición de las Figs. 4-6 y 4-8



I. SM.2158-4-09

También se realizaron algunas pruebas con un PLA propio. Puede ser la situación de «caso más desfavorable» cuando está llamando constantemente mientras busca otro PLA, pero también puede ser representativo del caso en que se conectan cerca dos PLA, como sucede a veces. En cualquiera de estos casos, el nivel de cuasi-cresta de los productos de intermodulación es superior a los resultados que aparecen en la Fig. 4-8 (donde un PLA local se comunica con un PLA remoto). Para una frecuencia puntual de 14,182 MHz, en el interior de la «ranura» de 14 MHz, los niveles de emisión de cuasi-cresta para un PLA propio fueron los siguientes:

- Sin carga de rectificación, 44 dB μ V.
- Con unidad de alimentación con carga, 60 dB μ V.
- Con unidad de alimentación sin carga, 65 dB μ V.
- Con el rectificador mostrado en la Fig. 4-7, 73 dB μ V.

La ranura de 14 MHz es bastante profunda y cae por debajo del límite de 60 dB μ V del detector de cuasi-cresta EN55022 de clase B, pero en esta situación se observó que la unidad de alimentación con carga puede aumentar el nivel hasta el límite. Se observó, además, que la misma unidad de alimentación desconectada de su PSA (es decir, descargada) puede generar productos de intermodulación que superan unos 5 dB el límite. La unidad de alimentación propia es relativamente silenciosa en las bandas de ondas decamétricas, por lo que las anteriores emisiones parecen haber sido causadas por el rectificador de la unidad de alimentación que genera productos de intermodulación procedentes de las señales del PLA.

También se probó un cargador de un teléfono móvil y también generó productos de intermodulación, particularmente sin carga, aunque éstos fueron unos 2 dB inferiores al caso del PLA de la unidad de alimentación sin carga. Evidentemente, existen muchos tipos distintos de fuentes de alimentación en modo conmutación que pueden conectarse a la red y algunos de estos tipos pueden provocar bastante más intermodulación que los dos tipos antes mencionados.

4.2.2.3 Conclusiones

Aunque la introducción de ranuras espectrales en sistemas PLT ha demostrado ser muy útil a la hora de reducir la posible interferencia causada a los servicios de aficionados y de aficionados por satélite de los sistemas PLT internos, las mediciones resultantes de estos experimentos han demostrado que los efectos de la no linealidad en otros dispositivos tienen un efecto significativo en la reducción de las profundidades de las ranuras. No obstante, las ranuras siguen llevando a cabo una función muy válida, incluso cuando está presente la intermodulación, pero los efectos de la intermodulación pueden minimizarse mejor disminuyendo los niveles de la potencia aplicada al sistema de distribución de red.

5 Conclusiones generales

Este Informe demuestra que las emisiones procedentes de sistemas y dispositivos PLT pueden causar interferencia a diversos servicios de radiocomunicaciones. También se describen las características de las emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT, así como las características y criterios de protección de los sistemas de radiocomunicaciones que se ven afectados por los sistemas PLT. Además, se abordan los posibles métodos de reducción de la interferencia causada por las emisiones PLT.

Anexo 1

Consideraciones acerca del ruido, la radiación y la propagación

A1 Consideraciones acerca del ruido, la radiación y la propagación

A1.1 Nivel de ruido en la banda de ondas decamétricas

En esta sección se presenta una explicación general del ruido en la banda de ondas decamétricas (3-30 MHz). Pueden encontrarse referencias más detalladas acerca de los niveles de ruido en las secciones dedicadas a los usuarios del espectro radioeléctrico de este Informe.

La sensibilidad de un receptor de radiocomunicaciones de alto nivel está determinada por el ruido generado en sus fases de señal de bajo nivel. Este ruido está generado por los componentes activos del equipo y define en último término la sensibilidad del receptor. Sin embargo, en el espectro de ondas decamétricas la comunicación no suele estar limitada por el ruido interno del receptor, sino por otras fuentes de ruido externas al receptor mismo. Estas fuentes de ruido, combinadas, representan el *entorno de ruido ambiente*.

A1.1.1 El entorno de ruido ambiente

En la banda de ondas decamétricas, el entorno de ruido externo tiene dos partes: el ruido ambiente residual irreducible, que puede predecirse y oscilar en función de las estaciones, la hora del día y la posición geográfica; y el ruido incidental causado por fuentes artificiales locales. La combinación de estos dos ruidos determina el nivel mínimo de la señal utilizable. A estos ruidos se les da el nombre de ruido de fondo ambiente y ruido incidental, respectivamente.

El ruido incidental generado por dispositivos que se ajustan a las normas de compatibilidad electromagnética pertinentes puede ser muy superior al ruido de fondo. A pesar de ello, es posible recibir señales en ondas decamétricas de bajo nivel gracias a la naturaleza aleatoria y, por ende, probabilística, del ruido incidental. Muchos dispositivos radian casi al límite de su norma sólo en unas pocas frecuencias discretas o en una banda estrecha de frecuencias. Además, la mayoría del ruido incidental tiene un periodo de vida relativamente corto.

Los servicios de comunicaciones por ondas decamétricas han de tener en cuenta la naturaleza variable de la propagación de estas ondas. La frecuencia operativa y el tiempo de transmisión se han de escoger de manera tal que se optimicen las probabilidades de alcanzar una relación señal/ruido satisfactoria. Algunos sistemas de los servicios fijo y móvil disponen de flexibilidad suficiente en sus protocolos operativos para que la transmisión se repita posteriormente, cuando haya cesado la interferencia, en caso de que el ruido incidental impida la radiocomunicación en un momento concreto. En el caso de los sistemas automáticos o adaptables, esta funcionalidad puede estar incorporada en el protocolo operativo. Por el contrario, el servicio de radiodifusión en ondas decamétricas generalmente ha de mantener una calidad de servicio satisfactoria en una frecuencia concreta, o una zona objetivo concreta, durante periodos que oscilan entre media y varias horas, aun con condiciones de propagación variables.

Fuentes de ruido natural

- a) El ruido atmosférico, cuya principal fuente es la actividad casi continua de rayos en el Ecuador, desde donde la interferencia se propaga al resto del mundo por reflexión ionosférica. El nivel de ruido general depende de la frecuencia, la hora del día, la estación del año y la posición geográfica. En las zonas templadas, el ruido causado por esta fuente es relativamente bajo, aunque puede haber cortas ráfagas de ruido causadas por la actividad eléctrica de la atmósfera local en determinados momentos.
- b) El ruido cósmico, cuyo origen se encuentra en el espacio exterior, principalmente el Sol y la Vía Láctea (el ruido provocado por esta última también se conoce como ruido galáctico). En la banda de ondas decamétricas, el ruido cósmico que llega a la antena depende del efecto apantallante de la ionosfera y normalmente su nivel será inferior al del ruido artificial. En las frecuencias más bajas de la gama decamétrica es imposible distinguir el ruido cósmico del ruido de fondo general causado por otras fuentes.

Fuentes de ruido artificial

El ruido artificial está formado por dos componentes:

El primero es el resultado de un gran número de fuentes relativamente distantes. Esto se denomina ruido blanco y es uno de los constituyentes del ruido de fondo ambiente. Los entornos suelen clasificarse en urbano, residencial, rural y rural tranquilo. El ruido artificial procede de los equipos eléctricos, electrónicos o de radiocomunicaciones. Desde el punto de vista del usuario de radiocomunicaciones, la diferencia entre estos entornos es el nivel de ruido y el periodo de persistencia del mismo.

En segundo lugar está el ruido incidental causado por fuentes locales, cuyo nivel varía en función del tipo de entorno y de la densidad de utilización de equipos cercanos. En los entornos rurales y rurales tranquilos se puede esperar que el ruido incidental sea escaso y la calidad de las comunicaciones por ondas decamétricas óptima.

A1.1.2 Medición del ruido de fondo ambiente

Diversas organizaciones, entre las que se cuentan MASS Consultants, BNetzA, BBC, Qinetiq⁷ y la RSGB⁸ han realizado mediciones del ruido de fondo ambiente. Este tipo de mediciones se ha de realizar con mucha precaución. En concreto, es fundamental seleccionar una frecuencia radioeléctrica que no esté ocupada por una señal de radiocomunicaciones. No se han de confundir las señales radioeléctricas intencionales alrededor de una frecuencia concreta con el ruido.

A causa de la gran ocupación de las bandas de ondas decamétricas y del método de medición necesario, un simple barrido de frecuencias en una banda de ondas decamétricas utilizando un receptor de medición electromagnética típico con una anchura de banda normalizada de 9 kHz no ofrecerá una verdadera medición del nivel de ruido de fondo. Además, las mediciones realizadas con una antena de medición electromagnética de bucle típica pueden estar limitadas por el ruido del sistema receptor y no por el ruido del entorno.

A fin de llevar a cabo mediciones por barrido del verdadero ruido de fondo ambiente en la banda de ondas decamétricas, se ha de utilizar una anchura de banda muy inferior a 9 kHz, más bien del orden de 100-200 Hz. Los datos se extrapolan a continuación a una anchura de banda de 9 kHz para facilitar la comparación.

Generalmente no es posible medir el ruido de fondo ambiente en entornos industriales o comerciales, donde el ruido incidental superará todo el tiempo el nivel de ruido de fondo. En entornos residenciales suele ser más conveniente escoger un periodo de tiempo en que el ruido incidental no sea importante. Esto supone que las mediciones se realizan a una distancia razonable (más de 10 m) de cualquier edificio o inmueble residencial, y que la antena de medición esté adecuadamente situada. Al interpretar los mapas de ruido de fondo ambiente, es importante tener en cuenta las condiciones en que se ha realizado la medición, en especial la anchura de banda, el detector utilizado, los valores de cresta, cuasi-cresta o medios, y el tipo de antena.

A1.1.3 Determinación del nivel de ruido

A continuación se presentan algunos extractos de la Recomendación UIT-R P.372. Los datos relativos al ruido atmosférico causado por los rayos se obtuvieron de un gran estudio del CCIR realizado en la década de 1960 y, aunque es posible que el calentamiento global cause modificaciones en la incidencia e intensidad de la actividad tormentosa, por lo que convendría reexaminar el análisis para comprobar si estos datos se han modificado con el tiempo, no parece haber motivos suficientes para pensar que ha habido modificación alguna de los datos. Los datos relativos al ruido artificial proceden de un análisis realizado en Estados Unidos, principalmente en entornos de ese país, en la década de 1970.

Los niveles especificados en la Recomendación se utilizan como referencia en todo este Informe, aunque aún se plantea la cuestión de si son representativos de los niveles actuales en Europa. La CEPT ha iniciado una campaña de medición del ruido ambiente en Europa para evaluar si los niveles que se dan para las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas en la Recomendación UIT-R P.372 son representativos o no de la situación actual en Europa.

⁷ Qinetiq es la [empresa británica de tecnología militar](#), formada en gran parte por la antigua [Agencia Gubernamental de Evaluación e Investigación Militar \(DERA\)](#), junio de 2001.

⁸ Sociedad de Radiocomunicaciones de Gran Bretaña.

A1.1.3.1 Niveles de ruido térmico, artificial, cósmico y atmosférico

Para poder abarcar los principales tipos de modulación utilizados en las radiocomunicaciones por ondas decamétricas, los cálculos de interferencia y de ruido se realizan en una anchura de banda de referencia de 1 Hz.

Las fuentes de ruido consideradas son el ruido térmico inherente a las radiocomunicaciones y las actividades humanas, así como el ruido radioeléctrico mencionado en la Recomendación UIT-R P.372.

Ruido térmico por hertzio:

$$N_0/\text{Hz} = kT_0 \text{ W/Hz}$$

donde:

k : Constante de Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$ (J/K)

T_0 : 290 K.

Se utiliza para los cálculos el ruido radioeléctrico descrito en la Recomendación UIT-R P.372, que contiene componentes artificiales, cósmicos y atmosféricos. A continuación se exponen los detalles:

El valor medio por encima de kT_0 es:

$$F_{am} = c - d \log (f) \quad \text{dB}$$

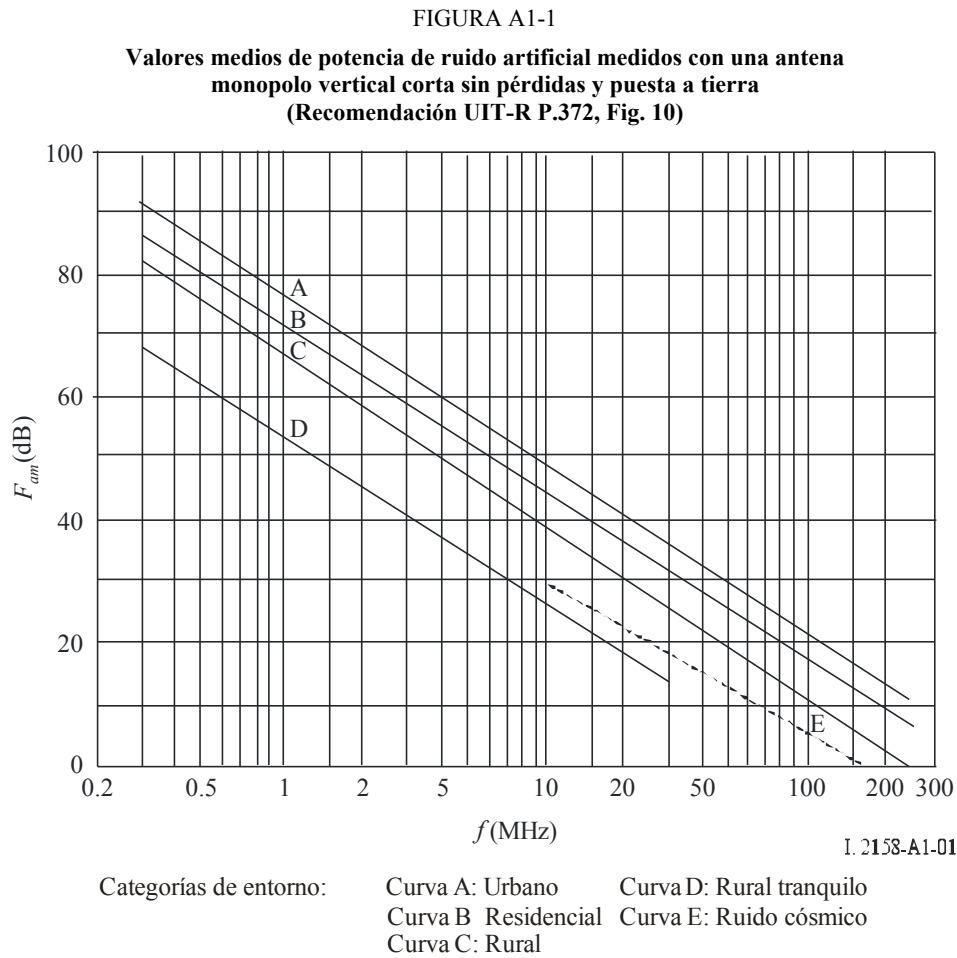
Los valores de c y d pueden encontrarse en la Recomendación mencionada y f es la frecuencia (MHz). Los valores son los siguientes:

CUADRO A1-1

**Constantes c y d de la Recomendación UIT-R P.372
para los distintos tipos de zona**

Tipo de zona	c	d
Urbana	76,8	27,7
Residencial	72,5	27,7
Rural	67,2	27,7
Rural tranquila	53,6	28,6
Cósmica (10-80 MHz)	52,0	23,0

En la Fig. A1-1 se muestran los niveles correspondientes:



El ruido atmosférico se modeliza de la siguiente manera:

CUADRO A1-2

Fórmulas del nivel de ruido atmosférico, excedido el 99,5%

Gama de frecuencias (MHz)	Fórmulas
1,5-10	$F_a = 27,8 - 0,35 (8,2 - f(\text{MHz}))^2 \text{ dB}$
10-15	$F_a = 46,4 - 1,98 f(\text{MHz}) \text{ dB}$
15-20	$F_a = 66,8 - 3,34 f(\text{MHz}) \text{ dB}$
20-30	0

Estas fórmulas se han derivado de la Recomendación UIT-R P.372 utilizando un gráfico que representa el rebasamiento del valor durante el 99,5% del tiempo y f es la frecuencia. Las fórmulas anteriores se han derivado únicamente para este análisis. Por consiguiente, aunque algunas no se ajustan perfectamente al gráfico original en los puntos donde la influencia de otros componentes es dominante, en la práctica los resultados finales son correctos y válidos.

A1.1.3.2 Actualización de las mediciones de ruido en Europa

En junio de 2002, el WGSE de la CEPT/ECC pidió, mediante una Declaración de Coordinación, al ECC FM22 la realización de una campaña de medición en Europa de las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas a fin de evaluar los niveles de ruido de fondo de la Recomendación UIT-R P.372-8. Se pidió la colaboración con el Equipo de Proyecto SE35 en el marco de su labor técnica sobre la compatibilidad entre los sistemas de transmisión por cable y los servicios de radiocomunicaciones.

La última versión de la Recomendación UIT-R P.372-9 data de 2007, pero no se modificaron las cifras correspondientes al ruido de fondo. Los resultados relativos al ruido artificial siguen procediendo de un análisis realizado en la década de 1970, sobre todo a partir de mediciones realizadas en Estados Unidos. Se han formulado propuestas que asumen que ha aumentado el ruido de fondo existente, por lo que es fundamental contar con los valores correctos de ruido de fondo en la actualidad.

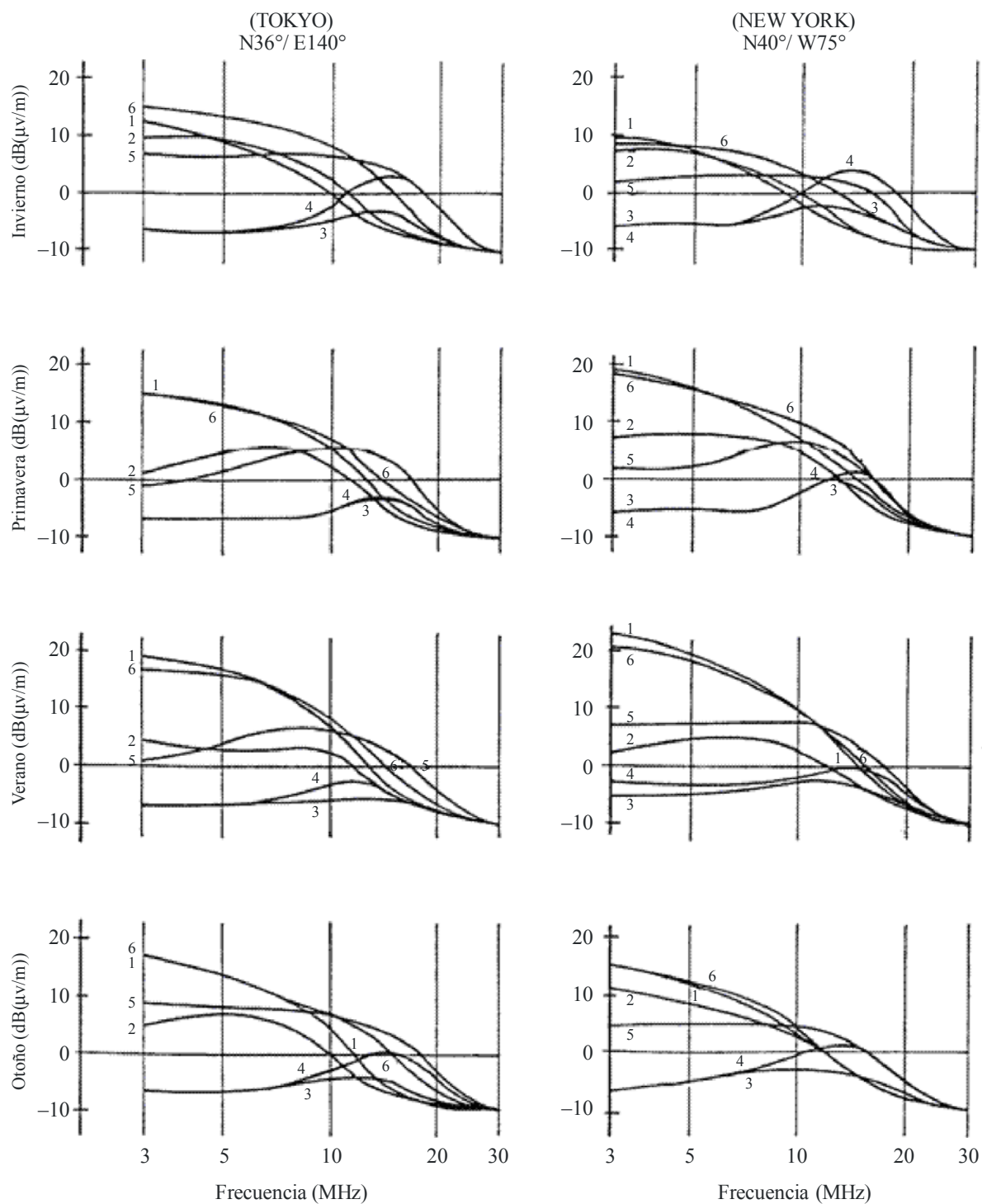
El FM22 organizó una campaña de medición en Europa en noviembre de 2002 y utilizó las propuestas del SE35 en cuanto al método y los procedimientos de medición, como se menciona en la Declaración de Coordinación. Los miembros del PT SE35 y organizaciones como la OTAN y la Asociación Europea de Radioaficionados declararon su voluntad de contribuir al estudio. Los resultados obtenidos de la campaña de medición europea eran ambiguos y quedó claro que el objetivo de obtener resultados comparables era mucho más complicado de lograr de lo que parecía al inicio de la campaña.

En los Países Bajos, un grupo de expertos de los sectores militares, industrial, aficionados y la Agencia de Radiocomunicaciones iniciaron un estudio en paralelo al realizado por el FM22.

Pronto quedó patente que el método y los procedimientos de medición empleados en Estados Unidos en 1970 no podían reproducirse, por lo que era necesario diseñar un método de medición debidamente definido.

FIGURA A1-3

Ejemplos de intensidad de campo de ruido atmosférico (Tokio, Nueva York)



En los últimos estudios realizados, MASS consultantes de Reino Unido, utilizó la tecnología moderna para obtener grandes conjuntos de datos que permitiesen un buen análisis estadístico. Se han creado métodos para obtener el nivel de ruido, aportando así datos para la futura modificación de la información de la Recomendación. También se diseñó un método para determinar las características estadísticas del componente impulsivo (véase el Informe UIT-R P.2089). Estos resultados se han introducido en el banco de datos de ruido de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones, junto con otros resultados similares procedentes de estudios realizados en Alemania.

Los niveles de ruido artificial revelados por estos estudios son del orden de los que se encuentran en la Recomendación, lo que lleva a pensar que no ha habido grandes modificaciones en los últimos 30 años, pues quizá la mayor utilización de dispositivos eléctricos se ha visto compensada por la mejora de las técnicas de supresión de la interferencia. Sin embargo, es necesario contar con más resultados antes de poder considerar la posibilidad de revisar la Recomendación.

En la Recomendación UIT-R P.372 se presentan estimaciones para todo el espectro de los niveles de ruido artificial, atmosférico y cósmico. En el caso de las ondas decamétricas casi siempre es el ruido artificial el dominante, aunque puede haber casos, por ejemplo en emplazamientos de radiocomunicaciones con bajo nivel de ruido, donde el ruido atmosférico y el ruido cósmico representen el mayor nivel de ruido. No se supone que el nivel de ruido procedente de fuentes naturales haya cambiado desde que se adoptaron los modelos de la Recomendación UIT-R P.372. Sin embargo, el ruido artificial puede haber cambiado con las actividades industriales.

A1.2 Mecanismos de propagación

A1.2.1 Propagación de campo próximo y por onda de superficie

La posibilidad de que haya fuentes lineales en el caso de la PLT hace que sea necesario estimar la radiación procedente de una porción genérica de la red total vinculada a un punto de inyección. La estimación puede realizarse a distancias de hasta por lo menos 1 km gracias a la aplicación de un modelo, como el código electromagnético numérico (NEC, *numerical electromagnetic code*). Para estimar los niveles de potencia radiada a distancias iguales o superiores a 1 km, donde la propagación se hará por onda de superficie, es posible calcular los niveles de intensidad de campo utilizando las curvas de la Recomendación UIT-R P.368⁹ para frecuencias de hasta 30 MHz. Se puede utilizar GRWAVE para toda la gama de frecuencias estudiada hasta, al menos, 80 MHz. Es posible obtener una copia de GRWAVE en la página de software de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones.¹⁰

Para distancias más grandes dentro de la línea de visibilidad directa, tanto por encima como por debajo de las líneas eléctricas, convendrá utilizar la Recomendación UIT-R P.525; y la Recomendación UIT-R P.1546 puede emplearse para frecuencias más altas.

A1.2.2 Propagación por onda ionosférica

En la gama de ondas decamétricas la ionosfera es un factor importante para que las señales relativamente débiles puedan propagarse por largas distancias, y lo que es más importante, que lo hagan mediante la reflexión y la refracción en las regiones más altas: las capas E y F. La absorción también puede ser un factor significativo, especialmente en la Región D, la parte más baja de la ionosfera, por lo que este modo de propagación puede al mismo tiempo mejorar y atenuar la

⁹ Disponible en <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.368/recommendation.asp?lang=en&parent=R-REC-P.368-9-200702-I>.

¹⁰ <http://www.itu.int/oth/R0A0400000F/en>.

intensidad de la señal recibida en gamas amplias. Dado que la ionización está determinada por el Sol, la ionosfera sufre variaciones diurnas y estacionales, en función del nivel de actividad solar.

El Grupo de Trabajo 3L del UIT-R considera que las configuraciones de líneas de alimentación eléctrica muy geométricas dotadas de sistemas PLT podrían causar en general emisiones más altas y direccionales que las distribuciones más aleatorias.

Puede que sea necesario estimar la potencia radiada total mediante la combinación de todas las porciones genéricas de una zona, por ejemplo, una ciudad. Si se constata(n) efecto(s) acumulativo(s) de múltiples sistemas PLT de acceso, podrían contribuir o ser el origen de una propagación por onda ionosférica que recorra largas distancias, dependiendo de la frecuencia. En Anexo se presenta para su estudio una metodología cuyo objetivo es ofrecer un medio de estimación de los efectos de emisiones acumuladas de un gran número de fuentes PLT con propagación por onda ionosférica.

Basándose en las hipótesis realizadas en los estudios contenidos en este Informe y en material adicional considerado, pueden realizarse las siguientes hipótesis en los cálculos combinados de la onda ionosférica.

Conjunto de hipótesis utilizadas en los cálculos combinados de la onda ionosférica	
p.i.r.e. por módem PLT ⁽¹⁾	–74 dBm/Hz a –103 dBm/Hz
Módems PLT en cada hogar	2 a 4
Ciclo de trabajo (función de tiempo durante el cual transmite cada módem)	0,005 a 0,50
Penetración en el mercado (módems PLT dividido por el número total de hogares)	0,02 a 0,30

⁽¹⁾ Algunos estudios han utilizado valores p.i.r.e. medidos de hasta –74 dBm/Hz, mientras que otros estudios han empleado niveles de potencia tan bajos como –103 dBm/Hz obtenidos a partir de niveles de potencia inyectados y un factor de conversión teórico.

A1.2.3 Ejemplos de cálculos y estudios de propagación

A continuación se enumeran algunos ejemplos de trabajos realizados sobre los modos de propagación de ondas radioeléctricas que nos interesan:

- 1) Informe NTIA 04-413 – *Potential interference from broadband over power line (BPL) systems to Federal Government Communications at 1.7-80 MHz – Phase 1 Study*. Puede obtenerse en la página <http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl>.
- 2) Recomendación UIT-R P.368 – Curvas de propagación por onda de superficie para frecuencias comprendidas entre 10 kHz y 30 MHz.
- 3) Recomendación UIT-R P.834 – Efectos de la refracción troposféricas sobre la propagación de las ondas radioeléctricas y Recomendación UIT-R P.1546 – Métodos de predicción punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 MHz a 3 000 MHz.
- 4) Recomendación UIT-R P.533 – Método para la predicción de la propagación de las ondas decamétricas.

Anexo 2

Análisis de interferencia posible

A2 Análisis de interferencia posible

A2.1 Análisis de modelización para el servicio de radioastronomía

«La posibilidad de que los sistemas PLT causen interferencia perjudicial depende en gran medida de factores como las características de la red de alimentación local y el diseño y topología del sistema PLT en cuestión. Dado que estos factores varían mucho de un lugar a otro, las conclusiones extraídas para un sistema y configuración no se pueden aplicar fiablemente a otros casos distintos. Las administraciones habrán de cuidarse de adoptar decisiones reglamentarias basándose únicamente en análisis que reflejen con exactitud la situación nacional.»

Los sistemas PLT inyectan energía de radiofrecuencias en banda ancha en un sistema conductor, que, por definición, está desequilibrado y puede adoptar muy distintas configuraciones, incluso dentro de un mismo país. Gracias a las diversas campañas de medición realizadas se ha visto que puede haber fuentes tanto puntuales como lineales de radiación. La existencia de fuentes lineales hará que sea necesario estimar la radiación en una porción genérica de la red total vinculada a un punto de inyección.

Es posible estimar la radiación en distancias de hasta por lo menos 1 km mediante la aplicación de un modelo como el código electromagnético numérico (NEC). Para estimar los niveles de potencia radiada en distancias iguales o superiores a 1 km, donde puede haber propagación por onda de superficie, es posible calcular los niveles de intensidad de campo utilizando las curvas de la Recomendación UIT-R P.368¹¹ para frecuencias de hasta 30 MHz. Se puede utilizar GRWAVE para toda la gama de frecuencias estudiada hasta al menos 80 MHz. Es posible obtener una copia de GRWAVE en la página de software de la Comisión de Estudio 3¹².

Puede resultar necesario estimar la potencia radiada total mediante la combinación de todas las porciones genéricas de una zona, por ejemplo, una ciudad. También es posible que las fuentes de líneas eléctricas creen una componente de onda ionosférica. En estos casos, se podrá estimar la intensidad de campo de la onda ionosférica empleando la Recomendación UIT-R P.533¹³.

Cabe señalar que, al elaborar los criterios de medición de los sistemas PLT es necesario realizar mediciones de los campos E y H a causa de la relación desconocida entre estos campos en el campo próximo de dichas fuentes de radiación.

A2.1.1 Utilización de las bandas de ondas decamétricas por parte del SRA

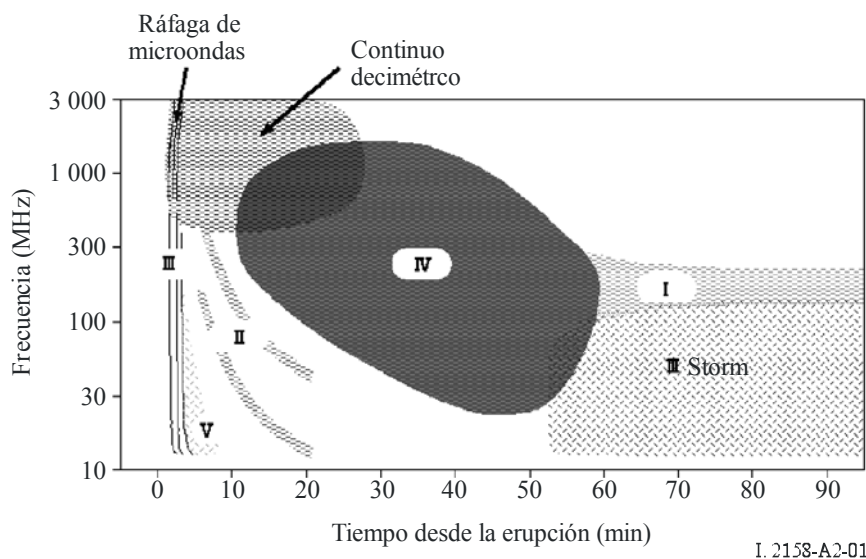
Las bandas protegidas, 13,36-13,41 MHz y 25,55-25,67 MHz, están ampliamente utilizadas por los radioastrónomos para observar las ondas electromagnéticas emitidas por el Sol, Júpiter, los pulsar y muchos otros cuerpos celestes. Estas emisiones se producen principalmente por las emisiones en un sincrotrón y las interacciones onda-partícula, originadas por electrones con una aceleración cercana a la velocidad de la luz, y tienen una distribución continua a lo largo de una gama relativamente amplia de frecuencias.

¹¹ <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.368/en>.

¹² <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=documents&mlink=rsg3&lang=en>.

¹³ <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.533/en>.

FIGURA A2-1
Tipos de ráfagas solares



El Sol produce emisiones radioeléctricas de muchos tipos. Sin embargo, las que se estudian en relación con la gama de ondas decamétricas son las emisiones producidas por las erupciones solares y otros transitorios. En la Fig. A2-1¹⁴ se muestran las características de estas emisiones y su clasificación. Las emisiones poseen diversas características y se dan en una amplia gama de frecuencias desde 10 MHz hasta 3 GHz. Las ráfagas y tormentas de Tipo III son las emisiones radioeléctricas solares que más frecuentemente se observan en la gama de ondas decamétricas, aunque puede haberlas de todo tipo con mayor o menor frecuencia. Las ráfagas de emisiones solares tienen fuerza suficiente para interrumpir las radiocomunicaciones terrenales. Dado que en las bandas de ondas decamétricas funcionan muchas aplicaciones vitales, como las comunicaciones aeronáuticas a larga distancia, es muy importante poder predecir las condiciones de degradación de las comunicaciones causadas por el Sol en estas bandas. Para ello, el Instituto Nacional de Tecnología de la Información y la Comunicación (NICT) de Japón lleva muchos años realizando «previsiones meteorológicas espaciales».

Además, algunos aspectos de la evolución del Universo en los instantes posteriores al Big Bang, que despiertan un inmenso interés en la actualidad, pueden estudiarse más adecuadamente en las bandas de ondas decamétricas y métricas/decimétricas. Los nuevos radiotelescopios como la matriz de baja frecuencia (LOFAR), la matriz de longitud de onda larga (LWA) y la matriz de kilómetro cuadrado (SKA) están previstos para explorar esta región del espectro.

A2.1.2 Distancias de separación entre una antena de radioastronomía y un sistema PLT en la región de ondas decamétricas

A2.1.2.1 Sistema PLT empleado para el estudio

En varios países se ha propuesto utilizar un sistema PLT de ondas decamétricas que emplea la banda de frecuencias 2-30 MHz. Dado que las líneas eléctricas no se han diseñado para aplicaciones de comunicación en ondas decamétricas, las transmisiones están muy atenuadas. Para compensar las pérdidas, los sistemas propuestos utilizan altas potencias de transmisión (por ejemplo, -50 dBm/Hz, que es el valor utilizado en este estudio). Por ende, las líneas eléctricas que transporten señales PLT radiarán una potencia notable en las bandas de ondas decamétricas.

¹⁴ <http://hiraiso.crl.go.jp/>.

La ganancia de la antena formada por la línea eléctrica se supone que es de -20 dBi ¹⁵.

A2.1.2.2 Cálculos

Resulta muy difícil utilizar un cálculo de aplicación general para determinar la potencia recibida por una antena de radiotelescopio desde un sistema PLT. Se han de tener en cuenta la geometría de los hilos que transportan las señales y la distancia que los separa de las estructuras conductoras y dieléctricas. Además, en comparación con las longitudes de onda, la «antena» puede estar cerca del suelo. En frecuencias inferiores a 30 MHz, la ionosfera puede ser un importante factor de propagación de las emisiones.

Ecuación para calcular la potencia recibida por una antena del SRA

La potencia recibida por una antena de radioastronomía se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_r = P_t - L_{bf} + G_r \quad (\text{A2-1})$$

donde:

P_r : potencia recibida por la antena de radioastronomía (dBW)

P_t : potencia transmitida a una distancia de 30 m del transmisor (dBW)

G_r : ganancia de antena de la antena de radioastronomía hacia el transmisor (dBi)

L_{bf} : pérdida de propagación más allá de 30 m del transmisor (dB).

Habida cuenta de la ganancia de la antena de radioastronomía (0 dBi) y de la ganancia de la línea eléctrica (-20 dBi), es necesario evaluar P_t y L_{bf} antes de calcular la potencia recibida por la antena de radioastronomía. Resultará difícil determinar el valor de P_t . Para estimar L_{bf} se habrán de tomar en consideración muchos factores además de la pérdida de trayecto geométrico, como la función de las estructuras conductoras y dieléctricas cercanas, la interferencia de ondas y la propagación ionosférica.

Se supone que la distancia es de 30 m, por lo que el cálculo siguiente está hecho para esta distancia. Más adelante se tratará la aplicación de este modelo a otras distancias.

Cálculo de la potencia transmitida a una distancia de 30 m de la antena transmisora

Es posible calcular la intensidad de campo transmitida a una distancia de 30 m, E , de un transmisor con la ecuación (1) del § 2 de la Recomendación UIT-R P.525, de la siguiente manera:

$$E = \frac{\sqrt{30G_tP}}{d} \quad (\text{A2-2})$$

$$= 408 \text{ (}\mu\text{V/m) (en la banda de 13 MHz)}$$

y

$$E = 633 \text{ (}\mu\text{V/m) (en la banda de 25 MHz)}$$

G_t y d denotan la ganancia de antena de un sistema PLT (dBi) y la distancia con respecto al transmisor, respectivamente. A continuación, se convierte la intensidad de campo en potencia con la ecuación (8) del § 4 de la Recomendación UIT-R P.525,

$$P_r = E - 20 \log f - 167,2 \quad (\text{A2-3})$$

¹⁵ MUTO, K., MANABE, K. y MORIMOTO, T. [2001] On the EMI / EMC issues in the Power Line Communication. 12-6, Records of Shikoku Sections Joint Convention of Institutes of Electrical Engineering of Japan (en japonés).

donde:

P_r : expresada en dBW

E : dB(μ V/m)

f : GHz.

Por consiguiente, la potencia recibida por una antena de radioastronomía con una ganancia de 0 dBi y emplazada a 30 m de la antena transmisora (línea eléctrica) se obtiene así,

$$P_r = -77,52 \text{ dBW (en la banda de 13 MHz)}$$

y

$$P_r = -79,34 \text{ dBW (en la banda de 25 MHz)}$$

Estos valores están muy por encima de los criterios de protección de los receptores del SRA. Este cálculo, incluso para una distancia de separación tan pequeña, merece atención porque, en general, los radiotelescopios están conectados a las líneas de alimentación eléctrica. Sin embargo, este resultado subraya la necesidad de mantener los sistemas PLT tan alejados como sea posible de las antenas de radiotelescopios.

Potencia recibida a distancias superiores a 30 m de la antena transmisora

El cálculo de la potencia recibida a distancias superiores a 30 m de la antena transmisora es difícil. En general, el cálculo de la potencia recibida a grandes distancias de la antena se basa en el supuesto de que la escala característica de la antena es pequeña en comparación con la gama, o que tienen una distribución uniforme hasta el infinito, como ocurre con un hilo recto infinito. Por norma general, los sistemas PLT no cumplen estas condiciones. Sin embargo, el cálculo en el espacio libre tiene un valor ilustrativo.

En la Recomendación UIT-R P.525 se presenta un modelo para calcular la pérdida de propagación en el espacio libre entre un sistema PLT y la antena de un radiotelescopio. Este modelo no comprende el efecto de la atenuación atmosférica. La atenuación atmosférica es de apenas $2,5 \times 10^{-2}$ dB/km (Fig. 1 de la Recomendación UIT-R P.676), por lo que no se tiene en cuenta aquí.

La pérdida de propagación en el espacio libre entre antenas isotropas, L_{bf} , se obtiene con la ecuación (4) del § 2.2 de la Recomendación UIT-R P.525:

$$L_{bf} = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d \quad (\text{dB}) \quad (\text{A2-4})$$

donde:

f : frecuencia (MHz)

d : distancia entre la antena del SRA y el sistema PLT (km).

No obstante, sería más realista utilizar un análisis más determinístico, como el que está preparando el Grupo de Trabajo 9C, que incluye la modelización de las emisiones recibidas desde las líneas eléctricas a una distancia de entre 10 y 1 000 m.

Cálculo de la distancia de separación

Al estimar la distancia de separación hay que tener en cuenta, al menos, dos modos de propagación principales: la propagación por trayecto directo, incluidos los efectos del terreno, y la propagación ionosférica.

a) *Cálculo del trayecto directo*

Utilizando los elementos expuestos podemos estimar la distancia de separación, d .

En la banda de 13 MHz, $L_{bf} = 107,48$ dB y $d = 424$ km. Del mismo modo, en la banda de 25 MHz, $L_{bf} = 108,66$ dB y $d = 253$ km.

Con este modo de propagación, se necesita una distancia de separación de hasta 424 km para proteger a la antena de radioastronomía en ondas decamétricas contra la interferencia causada por un único sistema PLT. En la realidad, se ha de tener en cuenta la presencia de múltiples transmisores, algunos de los cuales transportan las mismas señales, pero se encuentran a distintas distancias con respecto a la antena del radiotelescopio.

b) *Propagación ionosférica*

En la banda de ondas decamétricas, la ionosfera es un importante factor que permite la propagación de señales relativamente débiles a larga distancia, gracias a la reflexión y la refracción. Puede haber absorción en la Región D, la parte más baja de la ionosfera. Así, este modo de propagación puede al mismo tiempo mejorar y atenuar la intensidad de las señales recibidas en una amplia gama de frecuencias. La ionosfera está regida por el Sol y que sufre variaciones diurnas y estacionales, por lo que, al depender de la actividad solar, la intensidad de la señal recibida a grandes distancias puede tener hasta 60 dB de diferencia. Por consiguiente, este modo de propagación es el factor dominante de la recepción de las emisiones PLT a gran distancia y, en ocasiones, puede darles cobertura mundial.

A2.1.3 Exposición

No resulta fácil evaluar de manera realista la interferencia que los sistemas PLT pueden causar a los radiotelescopios. Como se trata en esta parte, se dispone de un valor inicial en estudios de caso y ejemplos simplificados.

A2.1.3.1 Múltiples sistemas PLT

Queda claro que los sistemas PLT están formados por múltiples módems para establecer la comunicación, por lo que es necesario estudiar el caso donde haya un número importante de módems PLT. Ya se ha introducido el sistema ADSL y hay más de 1 000 000 de sistemas de este tipo en funcionamiento en muchos países. Por consiguiente, suponemos que en una zona hay 10 000 módems PLT instalados. En este caso, la potencia de transmisión combinada de los sistemas PLT es 10 000 (= 40 dB) veces superior a la de un solo sistema, e incluso en el caso más simple de recepción por trayecto directo, la distancia de separación necesaria para proteger a la antena del SRA es 20 dB mayor, es decir, la distancia es más grande que el radio de la Tierra.

A2.1.3.2 Propagación por difracción

La difracción alrededor de la superficie curva de la Tierra es un importante factor en la propagación de las ondas radioeléctricas a larga distancia. En la Recomendación UIT-R P.526 se dan orientaciones para la elaboración de un modelo de propagación por difracción, y en su Anexo se encuentran los monogramas para obtener la pérdida de propagación debida a la difracción en relación con la propagación en el espacio libre. Por ejemplo, en la Fig. 2 de la Recomendación UIT-R P.526 se ilustra la pérdida por difracción debida a la Tierra esférica como función de la distancia.

En la Figura se ve que la pérdida por difracción es mayor en distancias iguales o superiores a 38 km (a 25 MHz y $k=1$, donde k es el factor del radio efectivo de la Tierra, definido en la Recomendación UIT-R P.310), y que a una distancia de 100 km se obtiene una pérdida adicional de unos 20 dB. Sin embargo, esos monogramas también sugieren que la difracción no causa mucha pérdida adicional si la distancia de separación no es tan grande.

A2.1.3.3 Reducción de las fugas de emisión de los sistemas PLT

No se puede excluir que en el futuro se disponga de métodos técnicos y operativos que puedan reducir notablemente la emisión de señales radioeléctricas por las líneas eléctricas hasta niveles inferiores a los que aquí se asumen. Tal avance tendría importantes consecuencias para la compatibilidad. Por ejemplo, en caso de propagación por trayecto directo en el espacio libre, la reducción de la fuga de emisión en 60 dB haría que la distancia de separación entre la antena de ondas decamétricas del SRA y el sistema PLT se redujera a unos 0,4 km, es decir que se reduciría unas 1 000 veces la distancia de separación necesaria. En este caso, sería posible instalar 10 000 módems PLT determinando una zona de exclusión de 40 km de radio entorno a cada telescopio del SRA. Si el grado de reducción fuese inferior a 60 dB, el radio de la zona de exclusión aumentaría consecuentemente.

A2.1.3.4 Radiación a frecuencias superiores

Los sistemas de distribución eléctrica no se han diseñado para el transporte de señales de ondas decamétricas. Además de los diversos componentes resistivos y reactivos, estos sistemas tienen características que casi con toda certeza no son lineales, como por ejemplo, las capas de óxido, el recubrimiento aislante, las descargas en atmósferas húmedas, etc., que generarán componentes armónicos y de intermodulación que pueden ampliarse a frecuencias muy superiores a las que utiliza la PLT. Es necesario tener en cuenta estos elementos. Sin embargo, en tal caso, los problemas de propagación serían mucho menos complicados.

A2.1.4 Conclusiones

Los modelos de evaluación de la repercusión de las emisiones en ondas decamétricas procedentes de los sistemas PLT en el funcionamiento de los radiotelescopios aún son muy rudimentarios. Una distancia de separación adecuada será un factor importante en la protección de los radiotelescopios contra estas emisiones. El modelo de propagación por trayecto directo en el espacio libre simple indica que la distancia de protección máxima es de unos 420 km. Sin embargo, este valor puede verse modificado por los efectos locales del terreno y por la ionosfera que, bajo determinadas condiciones, puede hacer que las emisiones se propaguen a distancias continentales o incluso por todo el mundo. Para realizar una evaluación más realista se deberá asumir la presencia de múltiples fuentes, de las cuales al menos algunas transmitirán las mismas señales a distintas distancias con respecto al radiotelescopio. Cuando se disponga de métodos para reducir las emisiones en unos 60 dB, el problema de compatibilidad entre las PLT y los radioobservatorios será mucho más simple, y aumentará la viabilidad demostrable de la compartición de la banda entre las observaciones radioastronómicas y los sistemas PLT.

La radiación de los productos de intermodulación y los armónicos a causa de las características no lineales (a frecuencias radioeléctricas) de los componentes de las líneas de alimentación puede generar emisiones a frecuencias muy superiores a la frecuencia PLT fundamental. También es necesario estudiar esas emisiones, aunque en este caso podrían aplicarse modelos de propagación más simples.

Los sistemas PLT pueden implantarse ampliamente y, una vez que esto haya ocurrido, será difícil resolver los problemas de compatibilidad con el servicio de radioastronomía y otros servicios de comunicaciones. Es menester insistir en la necesidad de llevar a cabo estudios globales, que comprendan combinaciones de señales únicas y múltiples, las propiedades de radiación de grandes redes conectadas en entornos similares a aquellos en que funcionarán los sistemas PLT; y también es necesario efectuar las mediciones adecuadas en los sistemas y componentes reales. En este momento no es posible afirmar que hay compatibilidad, pues es necesario realizar más estudios.

A2.2 Examen de la interferencia causada por los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) al servicio de radiodifusión

A2.2.1 Introducción

La promesa de comunicaciones de datos a alta velocidad a través de la infraestructura de alimentación eléctrica existente es una alternativa atractiva a los servicios Internet, en particular en las zonas rurales. Los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) emplean los sistemas de distribución de electricidad de media y baja tensión para guiar la propagación de señales de radiofrecuencias y, así, dar acceso a los servicios de banda ancha. Dado que las líneas eléctricas no están blindadas, es posible que se generen emisiones a lo largo de las líneas de distribución eléctrica. Las emisiones PLT generadas por dispositivos sin la correspondiente atribución de frecuencias en el Reglamento de Radiocomunicaciones son el objetivo de este estudio.

La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones ha dejado claro que se ha de proteger el servicio de radiodifusión contra la interferencia causada por dispositivos sin la correspondiente atribución de frecuencias en el Reglamento de Radiocomunicaciones, que produzcan emisiones fundamentales en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodifusión. Se han realizado numerosos estudios empleando simulaciones para determinar la posibilidad de que los sistemas PLT causen interferencia a los distintos sistemas de radiocomunicaciones^{16, 17}. En este examen se consideran dos recientes estudios directamente aplicables a las bandas de radiodifusión en ondas decamétricas y en la parte inferior de ondas métricas.

A2.2.2 Efectos de la interferencia en la televisión en la parte inferior de las ondas métricas

Caldwell y Wetmore¹⁸ han estudiado la posible interferencia que puede causar la PLT en la banda de televisión en la parte inferior de ondas métricas (54-88 MHz). En su análisis simularon diferentes emplazamientos en la zona de Los Ángeles, California, en Estados Unidos. Las zonas se novelizaron utilizando el programa de código electromagnético numérico (NEC). Una de las zonas era un barrio residencial de West Los Ángeles alimentado por un sistema de distribución trifásico de 12 kV sin neutro de media tensión, donde los primarios del transformador están conectados entre fases. En la Fig. A2-2 se muestran los postes de distribución típicos (denominados 2 y 6). La zona general de la simulación se ilustra en la Fig. A2-3. Se identifican los emplazamientos de los postes de distribución 2 y 6 de la Fig. A2-2. El punto de excitación PTL, E, se sitúa en el poste 1.

¹⁶ NTIA [abril de 2004] Potential Interference from Broadband over Power Line (BPL) Systems to Federal Government Radiocommunications at 1.7-80 MHz, Phase I Study. Vols. I and II, NTIA Report 04-413.

¹⁷ HENRY, P.S. [abril de 2005] Interference Characteristics of Broadband Power Line Communication Systems Using Aerial Medium Voltage Wires. *IEEE Comm. Mag.*, p. 92-98.

¹⁸ WINSTON CALDWELL, M. y WETMORE EVANS, R. [3 de febrero de 2005] Fox Technology Group. Interference Effects into Low VHF Television Arising From Broadband Over Power Line. (Presentado a la FCC ET Docket 03-104 Por la Association for Maximum Service Television el 7 de febrero de 2005, disponible en la dirección www.mstv.org/docs/feb72005tech.pdf).

FIGURA A2-2

**Ejemplo de sistema de distribución eléctrica en una zona residencial
utilizado en el modelo PLT con el poste 2 en primer plano
y el poste 6 en el fondo de la imagen**



I. 2158-A2-02

El modelo NEC utiliza un tono de frecuencia única con una potencia de entrada de -56 dBm en una banda de televisión de 6 MHz. El estudio consideró las modulaciones de ensanchamiento de espectro en secuencia directa (DSSS, *direct sequence spread spectrum*) y de multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM). En el caso de la modulación OFDM con 50 portadoras regularmente espaciadas, la medición de conformidad utilizando la anchura de banda de resolución recomendada de 120 kHz mediría $1/50$ de la potencia de señal existente en el canal de 6 MHz. Por consiguiente, se ha de añadir $10 \log_{10}(50) = 17$ dB para reflejar adecuadamente el aumento combinado de la potencia de la señal debido a la presencia de múltiples portadoras OFDM.

Se situaron tres dipolos de media onda a una altura de 9,1 m por encima del nivel del suelo. La situación de los dipolos simula las antenas de recepción de televisión situadas en las casas del vecindario. La intensidad de campo recibida en los dipolos en presencia de 50 señales PLT portadoras con modulación OFDM se muestra en la Fig. A2-4 como una función del canal de televisión (canales 2, 3, 4 y 5 de la parte inferior de la banda de ondas métricas). La intensidad de la señal ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) se compara con el umbral de ruido en el extremo de la zona de cobertura de la señal de televisión digital ATSC. El umbral de ruido de $13 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ es la intensidad de campo, definida por la FCC, de $28 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ menos los 15 dB SNR exigidos para la televisión digital ATSC¹⁹. La intensidad de campo definida por la FCC es el valor de la intensidad de campo necesaria para delinear la zona de cobertura de una estación de televisión digital²⁰. Los factores de planificación de la FCC exigen que la relación deseada/no deseada (D/U, *desired-to-undesired*) para

¹⁹ ATSC – Comité de Sistemas de Televisión Avanzados.

²⁰ FCC [2 de julio de 1997] Longley-Rice Methodology for Evaluating TV Coverage and Interference. OET Bulletin N.º 69. Comisión Federal de Comunicaciones.

FIGURA A2-3

**Esquema del sistema de distribución de energía eléctrica en West Los Ángeles, California,
utilizado para evaluar las emisiones PLT en la banda de ondas métricas.
La excitación PLT, E, ocurre en el poste 1**

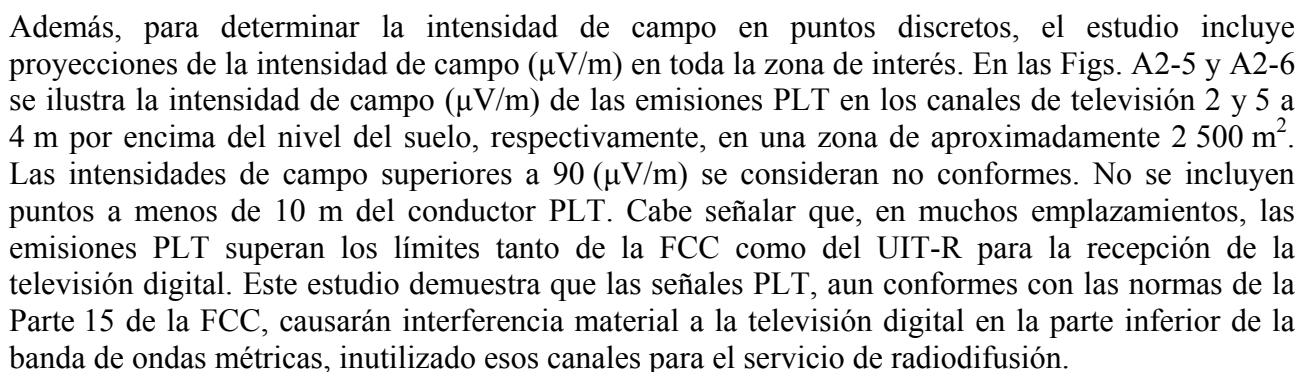


FIGURA A2-4

Intensidad de campo de una señal PLT recibida en tres emplazamientos con respecto a los canales de la parte inferior de la banda de ondas métricas del estudio de West Los Ángeles. La señal PLT simula 50 portadoras con modulación OFDM con una potencia de excitación de -56 dBm por portadora integrada en una banda de televisión de 6 MHz. La proyección ilustra que la señal PLT supera con mucho la intensidad de campo utilizada por la FCC para definir la zona de cobertura de una estación de televisión digital y los límites de recepción

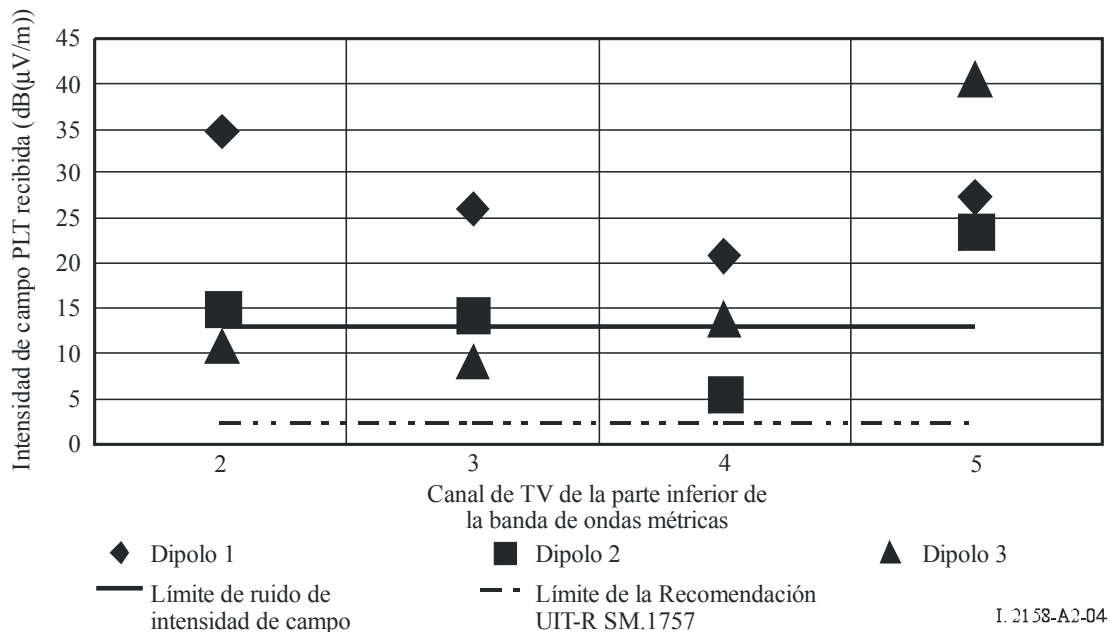


FIGURA A2-5

Intensidad de campo de las emisiones PLT (μ V/m) en el canal de televisión 2 a 4 m por encima del nivel del suelo. Véase que en las diversas discontinuidades de las líneas de alimentación aparecen especialmente emisiones fuertes

West Los Angeles 57 MHz

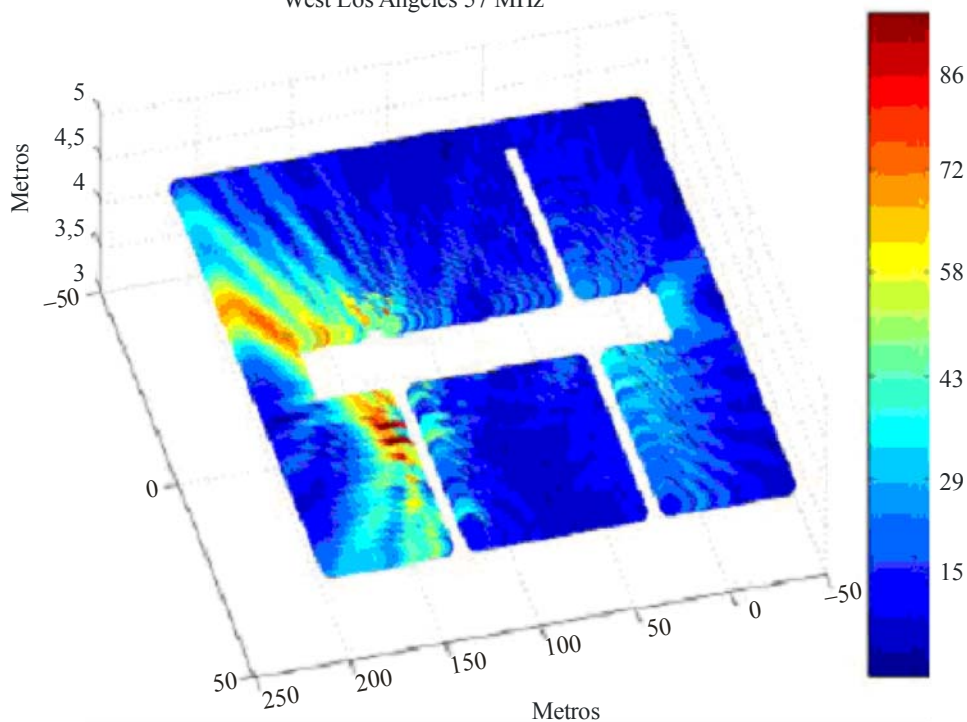
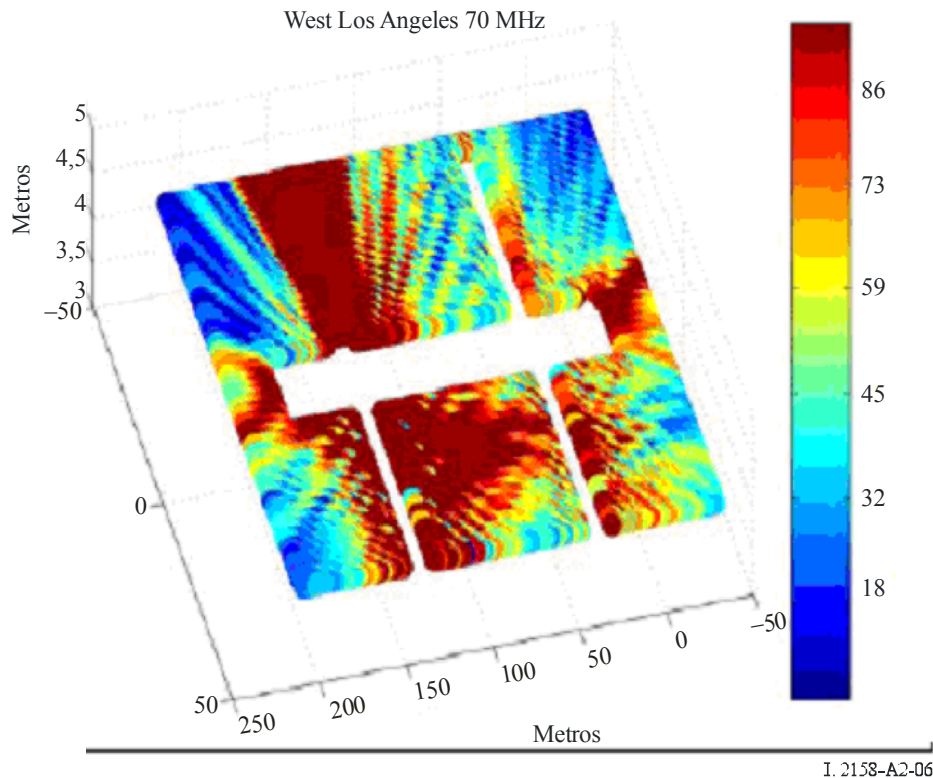


FIGURA A2-6

Intensidad de campo de las emisiones PLT ($\mu\text{V}/\text{m}$) en el canal de televisión 5 a 4 m por encima del nivel del suelo. Véase que las emisiones fuertes varían notablemente en función del canal de televisión



A2.2.3 Efectos de la interferencia en la banda de ondas métricas

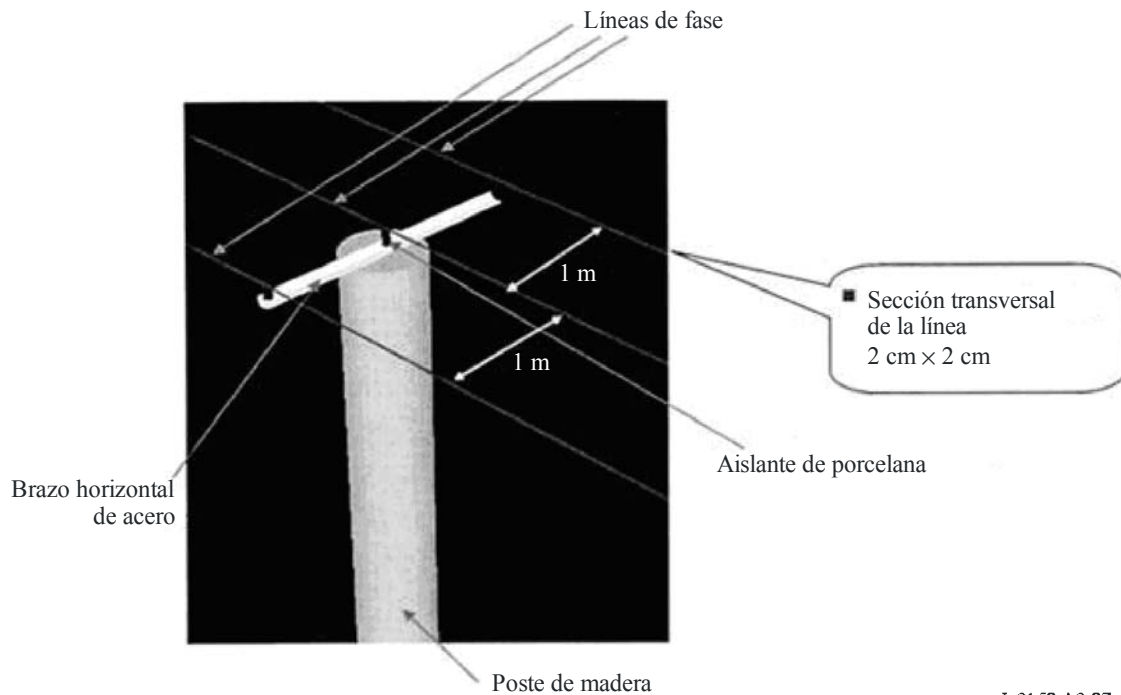
Zhang y Lauber²¹ han elaborado un modelo semejante para la banda 5-35 MHz, pero han incluido los efectos de los transformadores de distribución. Estos autores han caracterizado el sistema PLT utilizando una línea de media tensión trifásica con una línea neutra. Las líneas tienen un espaciamiento de 1 m a una altura de 10 m, estando la línea neutra 0,9 m por encima de la línea de fase central. En la Fig. A2-7 se muestra la configuración de postes.

El sistema de distribución de energía eléctrica se ilustra en la Fig. A2-8. La línea de alimentación está formada por una sección recta de 360 m con una segunda sección recta de 180 m formando un ángulo de 60°. Los dos extremos de la línea terminan en transformadores con configuración Wye. Para este caso, también se cargó la línea con transformadores en dos emplazamientos adicionales. La excitación PLT se inyectó a 60 m del extremo de la línea utilizando una fuente de Gauss de banda ancha con una densidad espectral de potencia de -50 dBm/Hz . Zhang y Lauber demuestran que la introducción de la reactancia inductiva de los transformadores aumenta las discontinuidades de impedancia y, por consiguiente, las resonancias y emisiones no deseables procedentes de las líneas de alimentación. Sus resultados confirman las observaciones de Caldwell y Wetmore de que las emisiones son más importantes en los puntos de discontinuidad del sistema de distribución eléctrica.

²¹ ZHANG, M. y LAUBER, W. [26-29 de marzo de 2006] Evaluation of Interference Potential of PLT Systems. Proc. 2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLT), Orlando, Florida, Estados Unidos de América.

FIGURA A2-7

Configuración de postes de distribución de energía eléctrica de la simulación de interferencia causada por las telecomunicaciones por líneas eléctricas en las bandas de ondas decamétricas 5-30 MHz, realizada por Zhang y Laube*

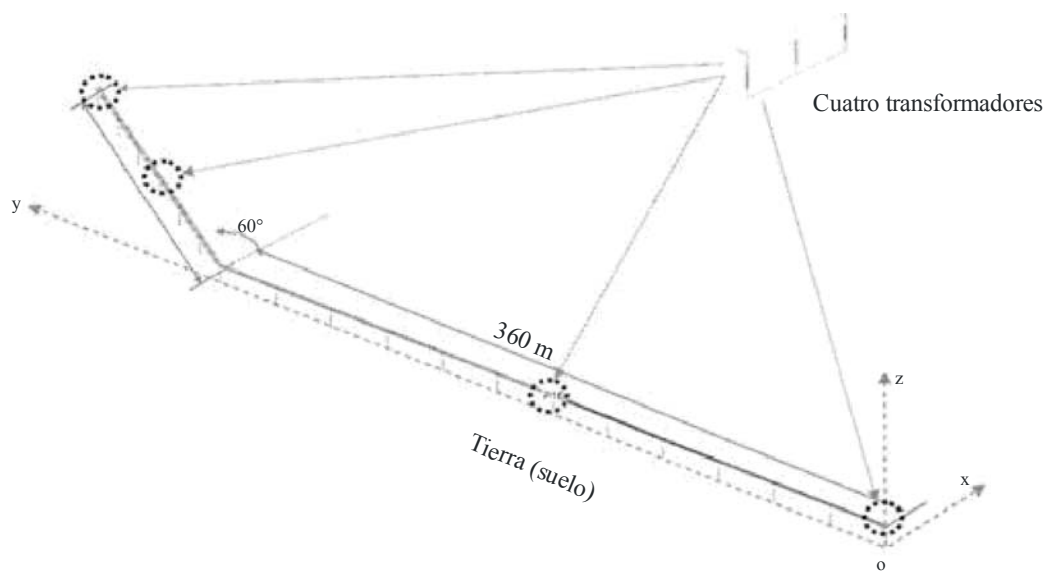


I. 2158-A2-07

- * ZHANG, M. y LAUBER, W. [26-29 de marzo de 2006] Evaluation of Interference Potential of PLT Systems. Proc. 2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLT), Orlando, Florida, Estados Unidos de América.

FIGURA A2-8

Modelo de Zhang y Lauber* de red de distribución de energía eléctrica con carga de transformador y terminaciones. Las líneas están situadas a 10 m por encima de suelo firme



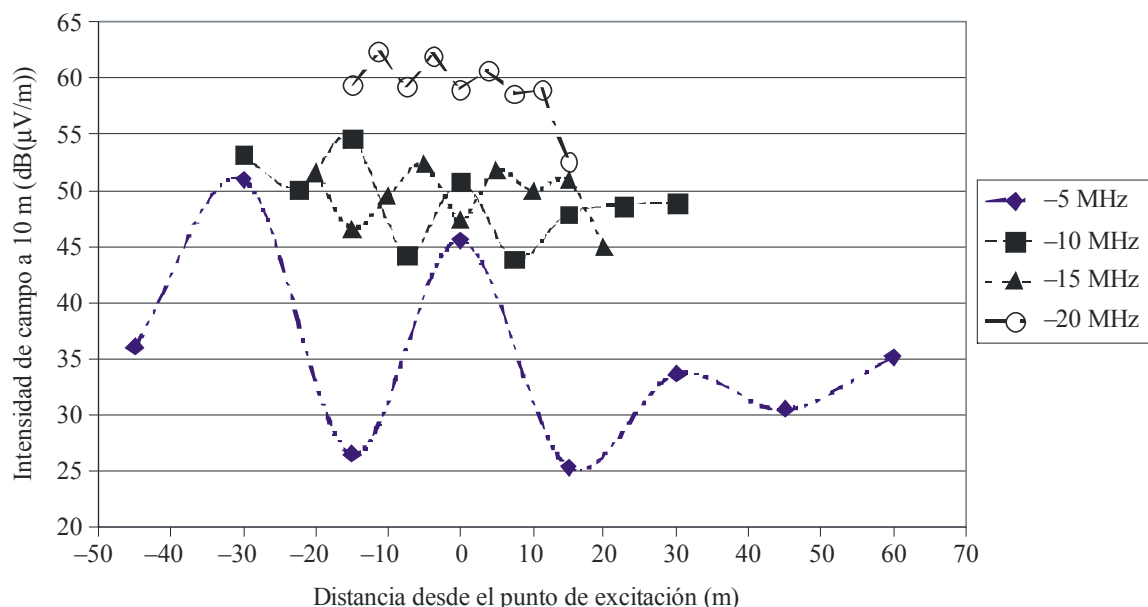
I. 2158-A2-08

- * ZHANG, M. y LAUBER, W. [26-29 de marzo de 2006] Evaluation of Interference Potential of PLT Systems. Proc. 2006 IEEE International Symposium on Power Line Communications and its Applications (ISPLT), Orlando, Florida, Estados Unidos de América.

Utilizando este modelo, Zhang y Lauber²² simularon puntos de medición a distancias de un cuarto de longitud de onda desde el punto de excitación. Las mediciones con polarización vertical se realizaron a una altura de 2 m por encima del nivel del suelo y a una distancia horizontal de 10 m del conductor más cercano. Los resultados se redujeron en 3 dB para compensar la diferencia entre los valores de cresta de la simulación y los valores límite de un detector de cuasi-cresta especificado por la FCC²³. En las Figs. A2-9 y A2-10 se muestran los resultados de la simulación como una función de la distancia desde el punto de excitación para las bandas 5-20 MHz y 25-35 MHz, respectivamente. Cabe señalar que hay ondas estacionarias presentes en la línea eléctrica. Estas ondas estacionarias, en presencia de discontinuidades de impedancia, dan como resultado importantes resonancias en diversas frecuencias y distancias a lo largo de la línea eléctrica. En la Fig. A2-11 se ve el efecto neto de esas resonancias, lo que demuestra que a lo largo de la línea de alimentación aparecen emisiones PLT que superan con mucho los límites de la FCC.

FIGURA A2-9

Intensidad de campo de las emisiones PLT adyacentes a una línea de distribución de energía eléctrica, derivada de las simulaciones de Zhang y Lauber* para frecuencias entre 5 MHz y 20 MHz



I. 2158-A2-09

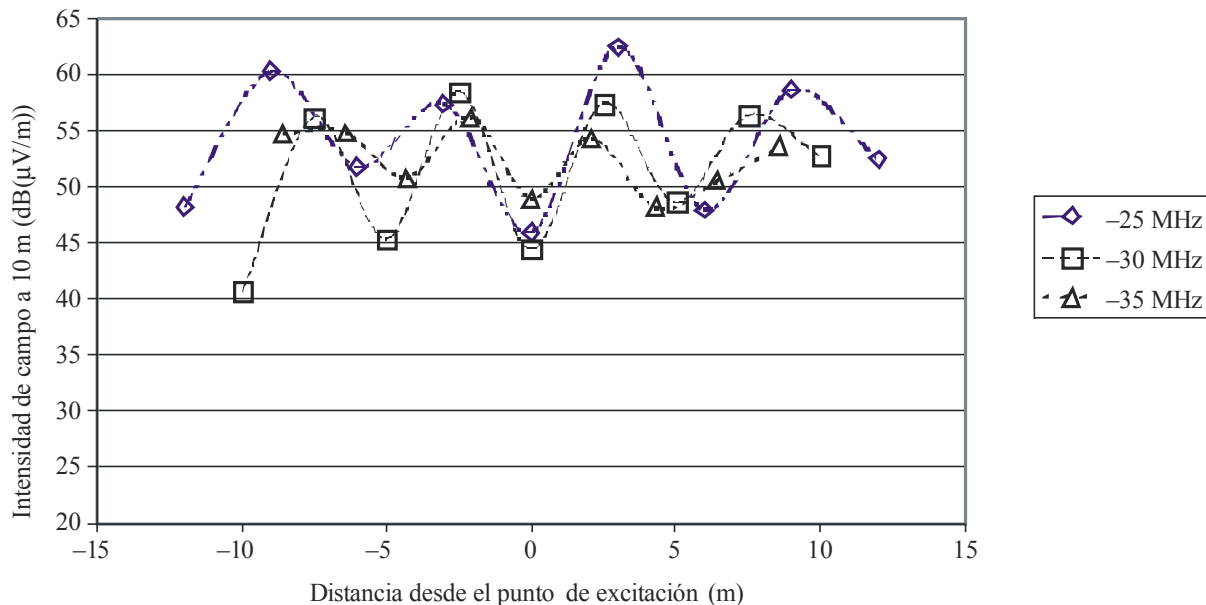
* ZHANG, M. y LAUBER, W. [enero de 2006] Evaluation of the interference potential of power line communication systems. CRC Technical Rep. Phase II, VWS-TM-05-06-02, Ottawa, Canadá.

²² ZHANG, M. y LAUBER, W. [enero de 2006] Evaluation of the Interference Potential of Power Line Communication Systems. CRC Technical Report Phase II, VWS-TM-05-06-02, Ottawa, Canadá.

²³ FCC [2004] Report and Order, In the Matter of Amendment of Part 15 regarding new requirements and measurement guidelines for Access Broadband over Power Line (BPL) Communication Systems. Adoptado el 14 de octubre de 2004 y publicado el 28 de octubre de 2004. Comisión Federal de Comunicaciones, Estados Unidos de América.

FIGURA A2-10

Intensidad de campo de las emisiones PLT adyacentes a una línea de distribución de energía eléctrica, derivada de las simulaciones de Zhang y Lauber* para frecuencias entre 25 MHz y 30 MHz

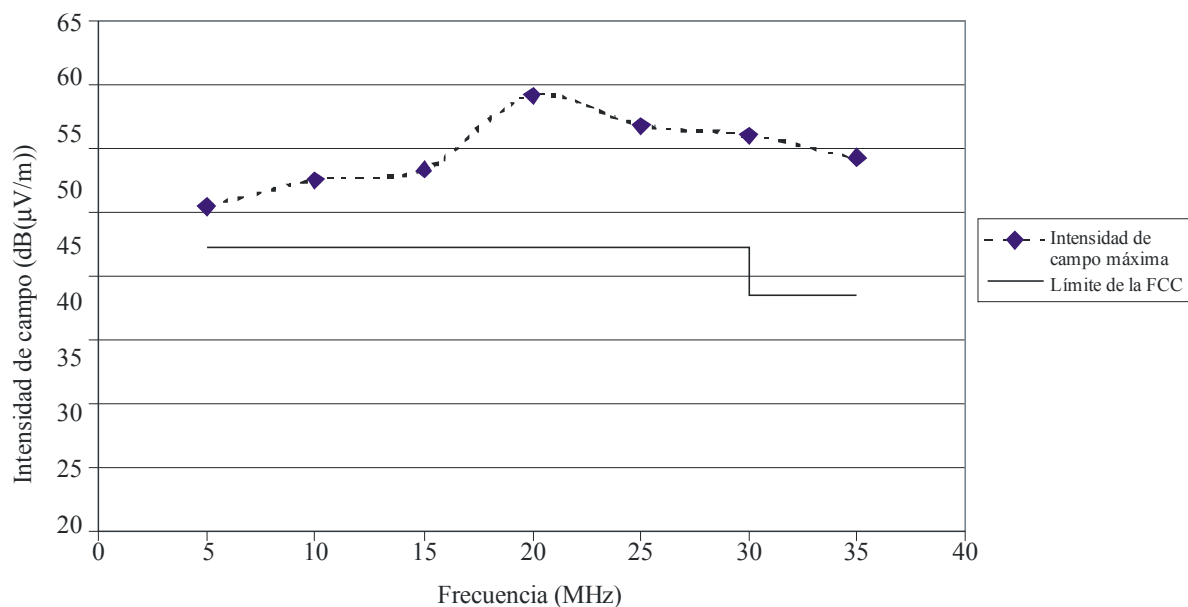


I. 2158-A2-10

* ZHANG, M. y LAUBER, W. [enero de 2006] Evaluation of the interference potential of power line communication systems. CRC Technical Rep. Phase II, VWS-TM-05-06-02, Ottawa, Canadá.

FIGURA A2-11

Máxima intensidad de campo de las emisiones PLT presentes a lo largo del sistema de distribución de energía eléctrica simulado por Zhang y Lauber*



I. 2158-A2-11

* ZHANG, M. y LAUBER, W. [enero de 2006] Evaluation of the interference potential of power line communication systems. CRC Technical Rep. Phase II, VWS-TM-05-06-02, Ottawa, Canadá.

A2.2.4 Resumen y conclusiones

Es evidente que el servicio de radiodifusión y su gama operativa están limitados por el ruido de fondo de los equipos receptores. Por consiguiente, este servicio es particularmente susceptible al ruido procedente de las cercanías de la antena receptora. En este examen se ha ilustrado el problema que plantea la PLT y la necesidad de limitar el funcionamiento de los dispositivos PLT en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radiodifusión.

A2.3 Efectos de la interferencia causada por la PLT al servicio de radiodifusión por debajo de 30 MHz

A continuación se muestran los efectos de la interferencia causada por la PLT al servicio de radiodifusión por debajo de 30 MHz.

En la siguiente dirección puede verse y oírse cómo la PLT puede afectar a los servicios de radiodifusión en ondas decamétricas: <http://www.ebu.ch/en/technical/publications/userguides/index.php>. La demostración titulada «The digital Haze (La bruma digital)» incluye una presentación audiovisual de la interferencia²⁴.

Ese documento muestra que la interferencia causada por los dispositivos y redes PLT afecta a la recepción de servicios analógicos en ondas decamétricas. Además, la interferencia de banda ancha radiada por las redes PLT puede dar lugar al fallo completo de los servicios digitales que utilizan el sistema DRM^{25, 26}. Dada la naturaleza transfronteriza de estos servicios, los auditores que sufren la interferencia no sabrán a quién han de reclamar. Si, como se prevé, aumenta el número de auditores que utilizan DRM, este problema podrá ser cada vez más frecuente y poner en peligro el desarrollo de nuevos servicios digitales. Por consiguiente, todo intento de implantación de la PLT que no tenga en cuenta este hecho planteará serios problemas a la comunidad radiodifusora.

La única manera de prevenir o, al menos, minimizar suficientemente este problema es definir unos límites de emisión adecuados para las redes PLT, de manera que se garantice la protección del servicio de radiodifusión.

A2.4 Método de cálculo de la interferencia por onda ionosférica en ondas decamétricas acumulada procedente de los sistemas PLT

En esta cláusula se presentan cuatro estudios sobre la acumulación de onda ionosférica de las emisiones PLT. A fin de determinar el nivel de potencia recibida combinada, en primer lugar se ha de suponer la potencia de salida y la densidad de los dispositivos y sistemas PLT. El efecto acumulado que los sistemas PLT diversamente ubicados causan en un único emplazamiento

²⁴ Descargue el fichero comprimido y guarde todos los ficheros en la misma carpeta una vez descomprimidos. Ejecute la demostración con el modo diapositivas de Power Point.

²⁵ El consorcio Digital Radio Mondiale (DRM), que cuenta 90 miembros, incluidas 36 empresas europeas, ha elaborado una nueva tecnología de radiodifusión digital para mejorar la calidad y aumentar las capacidades de la radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas, en comparación con las que ofrecen los sistemas analógicos existentes en estas bandas. Este sistema también se describe en la Recomendación UIT-R BS.1514-1.

²⁶ Pueden encontrarse demostraciones audiovisuales de DRM en: <http://www.drm.org/system/watchandhear.php>. Muchos radiodifusores ya emiten en directo en DRM. Puede consultar su programación en: <http://www.drm.org/livebroadcast/livebroadcast.php>. Puede encontrar toda la información relativa a DRM, incluidas las últimas noticias y eventos, en: <http://www.drm.org/newsevents/pressrelease.php>.

receptor puede calcularse añadiendo las potencias recibidas disponibles²⁷. Los cuatro estudios incluyen:

- 1) Un estudio realizado por el Grupo Especial de Investigación (RTG) de la Organización de Investigación y Tecnologías de Sistemas de Información (IST) sobre interferencia en ondas decamétricas, procedimientos y herramientas IST-050/RTG-022, que calcula las posibles repercusiones de la distribución mundial de sistemas o dispositivos PLT domésticos en un emplazamiento de prueba específico (modelo zona a punto). También se presenta el ejemplo de cálculo tomando la ciudad de Winnipeg, Canadá, como emplazamiento específico.
- 2) Un estudio realizado por la NTIA, donde se analiza la posible interferencia que puede causar la combinación de señales ionosféricas empleando un software de propagación y el método de los modelos de simulación electromagnética instantánea de la línea eléctrica PLT.
- 3) Un estudio realizado por Japón utilizando el modelo de propagación de ondas ionosféricas especificado en la Recomendación UIT-R P.533 «Modelo para la predicción de la propagación de las ondas decamétricas». Este estudio presenta ejemplos de cálculo de la propagación en ángulo elevado en las proximidades de Japón.
- 4) Un estudio realizado por la IUCAF, que contiene un estudio de compatibilidad con el servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas, basado en un estudio realizado en Japón.

A2.4.1 Ejemplo de interferencia de onda ionosférica en Winnipeg, Canadá, realizado por la OTAN

A2.4.1.1 Introducción

En esta sección se presentan los resultados de los trabajos realizados por Grupo Especial de Investigación (RTG) de la Organización de Investigación y Tecnologías de Sistemas de Información (IST) de la OTAN sobre «Interferencia en ondas decamétricas, procedimientos y herramientas IST-050/RTG-022»²⁸ a fin de examinar los problemas que puede causar la interferencia radioeléctrica involuntaria causada por el funcionamiento generalizado de sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas de banda ancha, como las telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT, PLC). El Grupo Especial de Investigación inició el estudio en 2004 con la participación de un grupo internacional de expertos, y su Informe Final se publicó en 2006 con carácter público.

²⁷ Cabe señalar que en los cálculos del ejemplo incluido en los estudios, los resultados están directamente relacionados con las hipótesis de partida.

²⁸ El Informe y la «Cumulative PLT calculation Tool» (herramienta de cálculo de la PLT acumulada) pueden descargarse de la página: <http://www.rta.nato.int/Pubs/RDP.asp?RDP=RTO-TR-IST-050>.

A2.4.1.2 Método de cálculo de la interferencia de onda ionosférica en ondas decamétricas acumulada causada por los sistemas PLT

Se propone un método global para predecir el efecto acumulado de la interferencia PLT de campo lejano (onda ionosférica) en un emplazamiento receptor. Conociéndose todos los parámetros pertinentes, con este método se pueden realizar predicciones exactas. Ha quedado demostrado, y es fácilmente explicable, que la potencia de señal acumulada de un gran número de radiantes involuntarios (por ejemplo, instalaciones PLT), recibida en el emplazamiento receptor, puede expresarse con la ecuación:

$$P_{cum}(f, t) = \iint_{x, y} \frac{g_{RX}(x, y, f)}{L(x, y, f, t)} P_{TX}(f) D_A(x, y) \eta_{PEN}(x, y) \eta_{USAGE}(t) dA \quad (A2-5)$$

- $P_{cum}(f, t)$ es la densidad espectral de potencia total recibida (W/Hz) en la frecuencia, f , y el instante, t .
- La integral se aplica a una zona con coordenadas geográficas (x, y) .
- La integral (suma) se realiza incoherentemente, es decir, basándose en la potencia en lugar de la amplitud.
- $g_{RX}(x, y, f)$ es la directividad de la antena receptora en la dirección (acimut y elevación) de las señales originadas en un transmisor en el punto (x, y) . Es importante utilizar la directividad en lugar de la ganancia para poder comparar mejor los resultados con los niveles de ruido de fondo definidos.
- $L(x, y, f, t)$ es la pérdida de transmisión básica entre el punto (x, y) y el emplazamiento receptor. Para cada frecuencia varía con el tiempo (en función de la actividad solar, la hora del día y la estación del año). Se propone utilizar la pérdida de transmisión media, «LOSS», predicha por ICEPAC²⁹, que calcula la atenuación que sufrirá la señal PLT en condiciones de propagación *medias* con los parámetros de entrada definidos.
- Cabe señalar que ICEPAC puede estimar $\frac{L(x, y, f, t)}{g_{RX}(x, y, f)}$ directamente, si se le dan las características de la antena receptora, que en este caso deberían estar normalizadas por la eficacia de la antena para dar su directividad, en lugar de la ganancia. De no conocerse las características de la antena receptora, se puede asumir una antena isótropa $g_{RX}(x, y, f) = 1$.
- $P_{TX}(f)$ es la densidad espectral de p.i.r.e. media (W/Hz) de una única instalación PLT.
- $D_A(x, y)$ es la densidad de población (personas por unidad de área). Este dato demográfico (cifras reales de 2005 y predicciones para 2010 y 2015) pueden descargarse gratuitamente de la base de datos «Gridded population of the world»³⁰. Se recomienda descargar la «Population Grid», que contiene el número de personas por cuadrante, con una resolución de 0,25°, en formato BIL. Estos datos tienen implícitamente en cuenta las diferentes zonas de los cuadrantes en diversas latitudes (y el hecho de que algunos cuadrantes tienen zonas de tierra más pequeñas, pues parte de ellos está ocupada por el mar), y por tanto contienen directamente $D_A(x, y)dA$.

²⁹ ICEPAC es parte de la familia de programas de predicción de ondas decamétricas IONCAP, que de acuerdo con la Recomendación UIT-R F.1611, se consideran modelos semejantes a los de la Recomendación UIT-R P.533. ICEPAC puede descargarse en la dirección: <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=documents&link=rsg3&lang=en>.

³⁰ Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC), Columbia University, que puede descargarse en la siguiente dirección <http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw>.

- $\eta_{PEN}(x, y)$ es la penetración de mercado (instalaciones PLT per cápita).
- $\eta_{USAGE}(t)$ es el ciclo de funcionamiento; la fracción media de tiempo durante la cual transmite cada instalación PLT. Este parámetro será distinto en función de la hora del día y el día de la semana. En el caso de las instalaciones domésticas probablemente sea más grande cuando los usuarios no estén en el trabajo. Al considerar los sistemas PLT domésticos, la penetración de mercado se referirá al número de módems instalados, mientras que el ciclo de funcionamiento se mediará para el número de módems (y, por ende, no superará el 50%, habida cuenta de que siempre habrá al menos un módem escuchando a un módem transmisor).
- Para estimar el potencial del efecto acumulado de la interferencia PLT en un emplazamiento receptor, el Grupo de Trabajo 5C recomienda aplicar el siguiente método:
 - Paso 1:* Descargar e importar los datos de densidad de población $D_A(x, y)dA$.
 - Paso 2:* Estimar $\eta_{PEN}(x, y)$ a partir de la información de mercado disponible.
 - Paso 3:* Seleccionar un número representativo de frecuencias operativas, de horas del día y estaciones del año, de manchas solares y de niveles de actividad geomagnética³¹. Para cada combinación de esos parámetros, síganse los pasos siguientes.
 - Paso 4:* Ejecutar ICEPAC (ICEAREA_INV) para obtener los valores medios de
$$\frac{L(x, y, f, t)}{g_{RX}(x, y, f)}$$
.
 - Paso 5:* Estimar los valores de $P_{TX}(f)$ y $\eta_{USAGE}(t)$, de acuerdo con la información disponible.
 - Paso 6:* Evaluar numéricamente la integral.
 - Paso 7:* Comparar los resultados con el nivel de ruido de fondo.

A2.4.1.3 Herramienta PLT acumulativa

La interfaz de usuario de ICEAREA INVERSE sólo permite realizar barridos para 9 combinaciones parámetros distintas, por lo que resulta muy fastidioso efectuar análisis globales. El número de parámetros es cinco (mes, hora del día, número de manchas solares, índice Q geomagnético y frecuencia), por lo que el total de combinaciones supera fácilmente las 1 000, incluso con un número reducido de alternativas para cada parámetro.

Para resolver este problema, el Grupo Especial creó una herramienta basada en MATLAB, la «herramienta PLT acumulativa», que cortocircuita la interfaz de usuario de ICEAREA INVERSE y ejecuta directamente el programa en modo bloque para un número arbitrariamente amplio de combinaciones de parámetros. Para ello, la herramienta PLT modifica los ficheros de entrada antes de enviar un comando DOS para iniciar el programa ICEPAC sin interfaz de usuario.

Para cada combinación de parámetros, la herramienta PLT aplicará los pasos 1, 4, 6 y 7 del método antes expuesto, y guardará el nivel de señal PLT acumulada resultante en un fichero de texto que se puede importar fácilmente con Excel, MATLAB o cualquier otro programa para su tratamiento y visualización. El fichero de texto también contendrá los niveles de ruido y el requisito de protección absoluta (APR, *absolute protection requirement*) de la Recomendación UIT-R P.372. El Grupo Especial propuso un requisito de protección absoluta de $-15 \text{ dB}(\mu\text{V/m})$ por cada 9 kHz de anchura

³¹ Índice de actividad Geomagnética (índice Q), que representa la actividad geomagnética efectiva, si se conoce el índice magnético planetario, Kp . El índice Q va de 0 a 8, correspondiendo el 0 a tranquilo, 5 a activo y 8 a gran tormenta.

de banda, que se convierte a (dBm/Hz) con la siguiente ecuación para la protección de servicios de radiocomunicaciones contra la interferencia generada por la PLT:

$$APR(f) = -15 \text{ dB}(\mu\text{V/m}) - 20 \log_{10}(f) - 10 \log_{10}(b) + 95,5 - 174 \quad \text{dBm/Hz} \quad (\text{A2-6})$$

donde:

f : frecuencia (MHz)

b : anchura de banda de potencia de ruido (Hz).

Del mismo modo, bajo determinadas circunstancias, ICEPAC predice pérdidas de trayecto inferiores a 30 dB entre determinadas regiones y el emplazamiento receptor. Es evidente que físicamente no es posible y probablemente se deba a un fallo e ICEPAC. La herramienta PLT acumulativa desechará cualquier resultado de ICEPAC que prediga pérdidas de trayecto para cualquier región inferiores a 50 dB, y etiquetará el nivel de señal PLT acumulada predicha con la sigla NaN (No es un número (Not a Number)) para indicar que faltan datos. Durante la realización de las pruebas de esta herramienta, se obtuvieron 107 NaN de un total de 7 992 ejecuciones de ICEPAC.

Antes de ejecutar la herramienta, ICEAREA INVERSE ha de ejecutarse una vez para definir el emplazamiento del receptor y la cuadrícula de emplazamientos transmisores, y que se configuren convenientemente los ficheros de entrada (que la herramienta modificará posteriormente). La cuadrícula de emplazamientos transmisores ha de ser una cuadrícula de latitud/longitud con una resolución de 0,25° en ambas direcciones, cuyo resultado se guardará en subdirectorío «default\». La herramienta está equipada con una interfaz de usuario textual en lugar de gráfica. Asimismo, $P_{TX}(f)$, $\eta_{PEN}(x, y)$ y $\eta_{USAGE}(t)$ son parámetros constantes, de manera que no se considera la variación de estos parámetros en función de la frecuencia, la ubicación y el tiempo.

A2.4.1.4 Herramienta PLT acumulativa – Instrucciones de uso

Los ficheros de software de la herramienta PLT acumulativa pueden descargarse de la dirección <http://www.rta.nato.int/Pubs/RDP.asp?RDP=RTO-TR-IST-050>. A continuación se muestran los pasos que se han de seguir para utilizar la herramienta.

Para empezar a utilizar la herramienta, hágase lo siguiente:

- 1) Ejecutar ICEAREA INVERSE una vez para configurar el emplazamiento receptor y la cuadrícula de emplazamientos transmisores:
 - a) Arrancar ICEAREA INVERSE.
 - b) Apretar en «Parameters» LOSS (predice directamente la pérdida de trayecto).
 - c) Apretar en «Method» Autoselect.
 - d) Coeficientes: URSI88 (no se observan diferencias al utilizar los coeficientes CCIR, pero se recomienda utilizar los coeficientes URSI88, pues son los más recientes).
 - e) Apretar «Receiver» para seleccionar un emplazamiento receptor.
 - f) Apretar «Plot Center», → «Set to receiver», y seleccionar los parámetros X e Y de la cuadrícula de emplazamientos transmisores. Es necesario verificar que las X y las Y abarcan el mismo número de grados. Una cuadrícula de -4 000 km a +4 000 km debería ser suficiente, pues es aproximadamente la distancia máxima de propagación por un solo salto, limitada por la curvatura de la Tierra, a menos que la interferencia procedente de regiones más lejanas despierte un particular interés. (Examínese el mapa para encontrar los valores adecuados de latitud y longitud mínima/máxima. Verifíquese que la diferencia entre el valor máximo y el mínimo es idéntica para la latitud y la longitud, de manera que la resolución angular sea idéntica en ambas direcciones).

- g) Apretar «Grid», seleccionar Grid Type (tipo de cuadrícula) = «1 Lat/Lon», y seleccionar el tamaño de la cuadrícula de manera que cada cuadrado sea de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, por ejemplo, si las X y las Y abarcan $70^\circ \times 70^\circ$, seleccionar un tamaño de cuadrícula de 281×281 . La cuadrícula de latitud/longitud es conveniente cuando se utiliza junto con los datos de densidad de población por cuadrante.
- h) Seleccionar «Run» → «Map only» para ver la extensión de la cuadrícula de transmisores.
- i) Verificar que sólo hay una combinación de parámetros en «Groups» (el valor real de los parámetros es irrelevante aquí).
- j) Apretar «System parameters», Min. angle (ángulo mínimo) = $0,1^\circ$, *multipath power tolerance* (tolerancia de potencia multitrayecto) = 10 dB, *maximum tolerable time delay* (retardo máximo tolerable) = 15 ms (los dos últimos valores se incrementan por defecto para tener en cuenta los distintos trayectos de propagación). Los demás parámetros de sistema, incluida la potencia del transmisor, son irrelevantes a la hora de predecir únicamente la pérdida de trayecto.
- k) Apretar «Fprob» y mantener los valores por defecto.
- l) Apretar «TX antena» por defecto/isótropa³².
- m) Apretar «RX antena» por defecto/isótropa, o insertar los parámetros de la antena receptora, de ser necesario.
- n) Seleccionar «Run» → «Calculate» → «Save/Calculate/Screen».
- o) Cuando se pida el nombre del fichero de entrada, ir a la subcarpeta titulada «default» (por defecto) e introducir un nombre de fichero significativo.
- p) En este momento, el programa debería realizar los cálculos y presentar una proyección en la pantalla. Cerrar el programa y todas las ventanas que ha generado. Los ficheros generados por el programa serán utilizados por la herramienta PLT acumulativa.

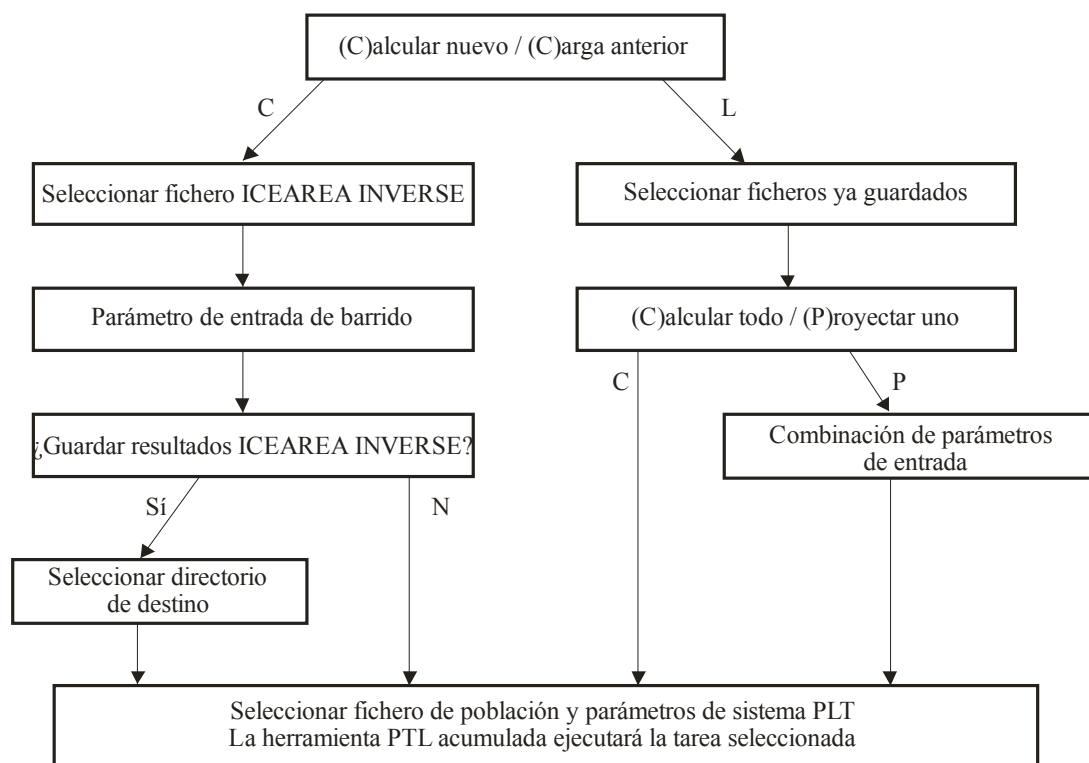
NOTA 1 – Si en «Groups» sólo se selecciona un caso, ejecútase «Save/Calculate/Screen». El resultado se reflejará en un mapa en la pantalla y se guardará en un fichero xxx.ig1. Si se seleccionan varios casos, ejecútase «Save/Calculate». Los resultados se guardarán en los ficheros xxx.ig1, xxx.ig2, xxx.ig3, etc. Los ficheros resultantes xxx.igx son ficheros de texto que pueden utilizarse posteriormente para evaluar los efectos acumulados.

- 2) Arrancar MATLAB, ir a la carpeta de instalación e introducir «cumulative_plt_tool» para iniciar la herramienta. Seguir las instrucciones de la pantalla.
 - a) Los procedimientos de entrada están previstos para ser relativamente seguros contra los fallos. En caso de que se introduzcan datos inesperados, la herramienta repetirá la pregunta.
 - b) Las opciones de la interfaz de usuario textual se presentan en la Fig. A2-12.
 - c) Cuando se pida seleccionar el fichero de datos de población, téngase en cuenta que, por ejemplo, el fichero glp05ag15.bi corresponde a los datos de población de 2005 y glp10ag15.bil a 2010 (las cifras intermedias del nombre del fichero indican el año).
 - d) Téngase en cuenta que se necesitará mucho tiempo y espacio del disco duro para ejecutar un gran número de combinaciones de parámetros.

³² Antena isótropa: antena omnidireccional.

FIGURA A2-12

Diagrama de flujo de las opciones disponibles en la interfaz de usuario de la herramienta PLT acumulativa



I. 2158-A2-12

La herramienta tiene tres modos de funcionamiento:

- 1) «Compute new» (Calcular nuevo): la herramienta examinará una serie de combinaciones de parámetros y para cada una de ellas hará lo siguiente:
 - a) Llamar a ICEAREA INVERSE.
 - b) Almacenar el fichero resultante generado por ICEAREA INVERSE para su posterior utilización (facultativo).
 - c) Estimar el nivel de la señal PLT acumulada y compararlo con las curvas de ruido del UIT-R y con el requisito de protección absoluta.
 - d) Escribir las cifras resultantes en un fichero de texto.
- 2) «Load previous/Compute all» (Cargar anterior/Calcular todo): La herramienta examinará los ficheros previamente generados por ICEAREA INVERSE en el modo 1 y para cada uno de ellos hará lo siguiente:
 - a) Cargar el fichero resultante de ICEAREA INVERSE en la memoria.
 - b) Estimar el nivel de la señal PLT acumulada y compararlo con las curvas de ruido del UIT-R y con el requisito de protección absoluta.
 - c) Escribir las cifras resultantes en un fichero de texto.
- 3) «Load previous/Plot one»(Cargar anterior/Proyectar uno): La herramienta pedirá al usuario que seleccione una de las combinaciones de parámetros anteriormente calculadas y producirá el tipo de figura/mapa que se muestra en la Fig. A2-13.

Al ejecutar la herramienta se generan los siguientes ficheros:

- 1 «xxx_summary.txt»: Fichero de texto que contiene el nivel de la señal PLT acumulada estimada comparada con las curvas de ruido de fondo para cada combinación de parámetros.
- 2 «xxx_swept_parameters.mat»: Fichero de datos MATLAB que contiene información sobre las combinaciones de parámetros simuladas (se utiliza con los modos «Load previous» (Cargar anterior)).
- 3 (Facultativo) «xxx_00001.ig1», «xxx_00002.ig1», etc.: Resultados generados por ICEAREA INVERSE (un fichero por combinación de parámetros).

A2.4.1.5 Cálculo del ruido radioeléctrico en ondas decamétricas procedente de los sistemas PLT

En esta sección se presenta un ejemplo en que la herramienta PLT acumulada se utiliza para evaluar la posible interferencia en un emplazamiento receptor hipotético. El emplazamiento se seleccionó sobre el criterio de que fuese una ciudad, para facilitar la referencia. Los parámetros de entrada se presentan como ejemplo en § A2.1.

Ejemplo de emplazamiento receptor en Winnipeg, Canadá

En este ejemplo, se utiliza un emplazamiento receptor hipotético situado en Winnipeg, Canadá, (49,53N y 97,09O). Cabe señalar que Winnipeg, situada en la Provincia de Manitoba, es una zona rural de Canadá cuya densidad de población es inferior a dos personas por km² y que para el cálculo conviene utilizar el nivel de ruido «rural tranquilo» de la Recomendación UIT-R P.372. Además, hay que saber que CBC Radio-Canadá utiliza muchas de las frecuencias atribuidas al servicio de radiodifusión en las bandas de ondas decamétricas inferiores a 80 MHz.

El análisis se realiza a partir de las siguientes hipótesis:

La p.i.r.e. media por instalación PLT es $P_{TX} = -80$ dBm/Hz (por ejemplo, módems HomePlug de -50 dBm/Hz y ganancia de antena equivalente del cableado -30 dBi). El valor de -80 dBm/Hz que se utiliza en este ejemplo de cálculo es coherente con los valores medios de las conclusiones de la CRC (véase § A3.2), pero puede no representar los posibles niveles de cresta superiores, que se han comprobado son 20 dB más altos.

La penetración de mercado es $\eta_{PEN} = 0,05$ módems PLT per cápita. Otros estudios, que se indican en § A2.4.3, han utilizado una penetración de mercado (sistemas PLT por hogar) de entre el 20% y el 35%, siendo la media del 30%.

El ciclo de funcionamiento de cada módem es $\eta_{USAGE} = 0,3$. Las pruebas de la CRC revelaron que los módems domésticos siguen operativos y emitiendo señales RF aun cuando no se están transfiriendo datos. Algunos módems pueden tener un ciclo de funcionamiento del 50% (100% por cada par de módems). En un sistema PLT de acceso, cada módem puede funcionar con un ciclo de funcionamiento muy inferior.

La cuadrícula de emplazamientos transmisores utilizada va desde -120° a -50° de longitud y de -15° a 55° de latitud, y los módem PLT fuera de esta zona no se toman en consideración. No se conocen las características de la antena receptora, por lo que para el análisis se asumió una antena receptora isótropa.

Los datos de población utilizados son las predicciones para 2010.

A continuación se muestra la ejecución de la herramienta PLT acumulativa con MATLAB:

Herramienta PLT acumulativa

Roald Otnes, Agencia de Investigación Militar de Noruega (FFI), octubre de 2006
RTO IST-050/RTG-022 de la OTAN sobre Interferencia en ondas decamétricas,
procedimientos y herramientas

Este programa estimará el efecto acumulado de la PLT basándose
en las predicciones de pérdida de trayecto de onda ionosférica de ICEPAC
y en los datos de población de la base de datos «Gridded population of the world» (gpwv3).

El programa se ha probado con MATLAB versiones 6.5 y 7.1,
y con ICEPAC versión 05.0119WW

Ejecútese ICEAREA INVERSE una vez en modo normal para configurar todos los parámetros
antes de ejecutar este programa para realizar un barrido de algunos parámetros.

A continuación se invocará ICEAREA INVERSE (modo bloques) para todas las combinaciones
de parámetros escogidas.

Utilización de la interfaz textual:

Enter facilitará los parámetros por defecto.

Utilizar la sintaxis MATLAB para los parámetros que se van a barrer.

Téngase en cuenta que si se utilizan los valores por defecto para todos los
parámetros barridos, la ejecución llevará mucho tiempo.

Ctrl-C en la ventana MATLAB para abortar.

NO cerrar la ventana ICEPAC que aparece, pues podría confundir a Windows.

Cálculo en bloques ICEAREA INVERSE: (C)alcular nuevo (L)cargar anterior? c

Directorio de instalación ICEPAC [c:\itshfbc\]:

*Seleccionar el fichero de entrada creado en la ejecución de configuración
inicial (por ejemplo, WINNIPEG.ice)*

ICEPACfile =

WINNIPEG

Barrido de meses [2:2:12]: 2:2:12

Barrido de UTC [0:4:20]: 0:4:20

Barrido de SSN [50 100 200]: [50 100 200]

Barrido de Q [0 5]: [0 5]

Barrido de frecuencias [2 4 8 16 24]: [2 4 8 12 16 20 24]

Número total de ejecuciones de ICEAREA INVERSE previstas: 1 512

Guardar los resultados de ICEAREA INVERSE para su posterior utilización
(espacio de disco necesario: 20 267.1 MB). [Y](sí)/N(no)? Y

Directorio de salida [.\ICEPAC\]:

Seleccionar fichero de población (por ejemplo, glp10ag15.bil para los datos de 2010)

p.i.r.e. por módem PLT (dBm/Hz) [-80]:

Penetración de mercado (módems PLT per cápita) [0,05]:

Ciclo de funcionamiento (fracción de tiempo durante la cual transmite cada módem PLT) [0,3]:

Factor de mercado (penetración * ciclo de funcionamiento): -18,2 dB

p.i.r.e. per cápita: -98,2 dBm/Hz

Los resultados se guardarán en el fichero .\icepac\WINNIPEG_summary.txt

Modificación de los ficheros de entrada ICEAREA INVERSE

copiar c:\itshfbc\run\temp1.txt c:\itshfbc\run\iceareax.da1

1 fichero(s) copiado.

copiar c:\itshfbc\run\temp2.txt c:\itshfbc\area_inv\default\WINNIPEG.ice

1 fichero(s) copiado.

c:\itshfbc\bin_win\icepacw.exe c:\itshfbc\INV CALC default\WINNIPEG.ice

copiar c:\itshfbc\area_inv\default\WINNIPEG.ig1 .\icepac\WINNIPEG_00001.ig1

1 fichero(s) copiado.

Integral de población/pérdida en toda la zona: -31,4 dB

Ruido PLT recibido: -129,7 dBm/Hz

Límite inferior de ruido atmosférico: -159,7 dBm/Hz

Ruido artificial, rural: -115,0 dBm/Hz

Ruido artificial, rural tranquilo: -129,0 dBm/Hz

Requisito de protección absoluta: -139,1 dBm/Hz

Y así para las siguientes 1 511 combinaciones de parámetros.

La ventana de comandos MATLAB presentada más arriba empieza con la documentación y explicaciones de uso y sigue con los parámetros de entrada de usuario y breves informes de cada ejecución de ICEPAC. Las primeras 1 512 ejecuciones (6*6*3*2*7 combinaciones de parámetros) se muestran más arriba. Las 1 512 ejecuciones de ICEPAC con la cuadrícula de 281 × 281 utilizada en este ejemplo llevaron un total de unas 22 horas en un computador personal normal de 2006 y ocuparon 20 GB de espacio de disco al guardar los resultados de ICEPAC detallados para su posterior utilización (facultativo).

Dado que el valor «p.i.r.e. por módem PLT» de entrada es la anchura banda normalizada en unidades dBm/Hz, la estimación resultante de la señal PLT acumulada también se obtiene en unidades dBm/Hz. Los resultados se guardan en un fichero de texto distinto, una línea por ejecución de ICEPAC, al igual que en el ejemplo WINNIPEG mostrado en § 5.1. (NOTA – En el caso de las ejecuciones de ICEPAC desechadas, el número de la columna «PLT noise» (ruido PLT) se sustituirá por «NaN»):

WINNIPEG [ISÓTROPÍA], datos de población de 2010, p.i.r.e. = -98,2 dBm/Hz per cápita

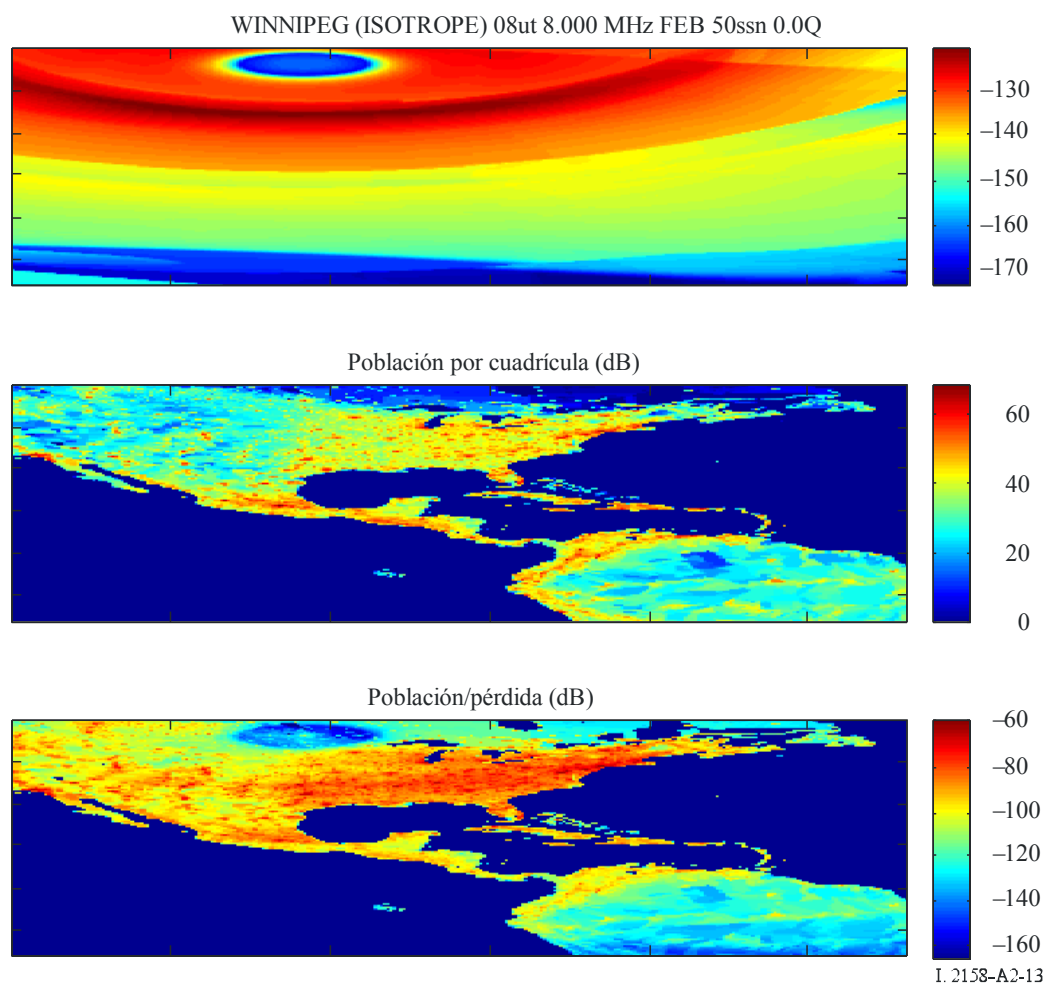
Mes	UTC	SSN	Q	Frec	ruido PLT	Atm (bajo)	Rural	Rural tranquilo	Req. Prot. abs.
2	0	50	0	2,000	-129,69	-159,65	-114,99	-129,01	-139,06
2	0	50	0	4,000	-134,53	-152,37	-123,18	-137,62	-145,08
2	0	50	0	8,000	-139,32	-146,21	-131,36	-146,23	-151,10
2	0	50	0	16,000	-149,54	-160,64	-139,55	-154,84	-157,12
2	0	50	0	24,000	-165,75	-187,36	-144,34	-159,87	-160,65

Mapas de PLT acumulada resultantes

La herramienta PLT acumuladas también ofrece la opción de proyectar mapas que ilustren la correspondencia entre la pérdida de trayecto de ICEPAC y la densidad de población. Para ello es necesario disponer de los resultados de ICEPAC detallados que se han guardado en el disco. En la Fig. A2-13 se muestra como ejemplo un caso en que la señal PLT predicha supera el ruido artificial rural tranquilo medio en más de 6 dB. En general los niveles de señal PLT altos previstos corresponden a casos en que la pérdida de trayecto desde las regiones con alta densidad de población es baja. Algunos Miembros de Sector llegaron a la conclusión de que los parámetros utilizados en el ejemplo de cálculo son razonables y que los resultados indican correctamente que los niveles de señal PLT rebasan el ruido artificial «rural tranquilo» medio en, al menos 6 dB.

FIGURA A2-13

Primera proyección: pérdida de trayecto media (dB) predicha por ICEPAC para una combinación de parámetros de receptor en Winnipeg; Segunda proyección: Población por cuadrícula de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ en dB ($10 \log_{10}$ (población)); tercera proyección: Producto (dB-suma) de las dos proyecciones anteriores



Los mapas de la Fig. A2-13 se han generado con la herramienta PLT acumulada MATLAB como se muestra a continuación:

Cálculo en bloques ICEAREA INVERSE: (C)alcular Nuevo o (L)cargar anterior? L

Fichero ICEPAC =

WINNIPEG

(C)alcular ruido PLT acumulado para todos los ficheros o (P)royectar uno? p

Seleccionar UTC, uno de (0 4 8 12 16 20): 8

Seleccionar frecuencia, una de (2 4 8 16 24): 8

p.i.r.e. por módem PLT (dBm/Hz) [-80]:

penetración de mercado (módem PLT per cápita) [0,05]:

Ciclo de funcionamiento (fracción de tiempo durante la cual transmite cada módem PLT) [0,3]:

Factor de mercado (penetración* ciclo de funcionamiento): -18,2 dB

p.i.r.e. per cápita: -98,2 dBm/Hz

Mes: 2 / UTC: 8 / SSN: 50 / Q: 0 / Frec: 8,00

Integral de población/pérdida en toda la zona: -41,3 dB

Ruido PLT recibido: -139,6 dBm/Hz

Límite inferior de ruido atmosférico: -146,2 dBm/Hz

Ruido artificial, rural: -131,4 dBm/Hz

Ruido artificial, rural tranquilo: -146,2 dBm/Hz

Requisito de protección absoluta: -151,1 dBm/Hz

A2.4.1.6 Ganancia de antena del sistema de líneas eléctricas

La ganancia de antena de un sistema de transmisión por líneas eléctricas se define como la relación entre la p.i.r.e. y la potencia inyectada. Se han realizado diversas mediciones para los sistemas PLT y el Informe del RTG recomienda las siguientes ganancias de antena:

- –30 dBi para los sistemas domésticos;
- –15 dBi para los sistemas de acceso aéreos;
- –50 dBi para los sistemas de acceso subterráneos.

Hay que reconocer que, a causa del margen estadístico, no hay una total certidumbre de que estas cifras sean correctas, y pueden oscilar entre ± 5 y ± 10 dB. Además, en el caso de las líneas eléctricas del sistema de acceso aéreo, en frecuencias resonantes la ganancia de antena puede ser superior en 10-13 dB.

A2.4.1.7 Estimación de la actual penetración de mercado de la PLT

En el § 5.6.5, para el ejemplo de cálculo se utilizó un valor estimado de penetración de mercado $\eta_{PEN} = 0,05$. La información relativa al mercado suele ser difícil de obtener y más de predecir, pues los vendedores no divulgan esta información de buen grado y la tecnología aún se está desarrollando. Un intento de predicción de la evolución del mercado PLT³³ considera que en 2010 habrá entre 2,5 y 5 millones de abonados a la PLT de acceso (BPL) en Estados Unidos. Esto representa una penetración de mercado del 0,9-1,7% de la población. En Alemania, el número de dispositivos HomePlug «en el mercado» en febrero de 2005 era de 300 000, y en febrero de 2006 de 800 000³⁴. Esta información fue comunicada al Grupo Especial por la alemana BITKOM (industria) a través del Ministerio de Comercio de ese país. La población de Alemania era de 82 millones, por lo que la penetración de mercado de HomePlug en febrero de 2006 era de 0,01 módem per cápita. En abril de 2006, Intellon había vendido 10 millones de chips HomePlug en todo el mundo y exportado 5 millones³⁵. (Intellon, DS2 y Panasonic son los principales vendedores de chips PLT). Los usuarios de la herramienta PLT acumulada pueden configurar convenientemente este parámetro.

A2.4.1.8 Conclusiones

El requisito de protección absoluta es un concepto elaborado por el Grupo Especial de Investigación, que se utiliza en este texto para preservar la integridad de la herramienta PLT acumulada. El nivel de protección absoluta no afecta al cálculo y sólo se utiliza para la comparación, al igual que los diversos niveles de ruido ambiental. El Grupo de Trabajo 5C no ha terminado sus estudios sobre los niveles de protección de los servicios de radiocomunicaciones terrenales contra los sistemas PLT. La metodología presentada en este documento se basa en el método de predicción de la propagación ICEPAC y puede emplearse para predecir la interferencia por onda ionosférica de ondas decamétricas acumulada causada por los sistemas PLT. Esta técnica puede emplearse para analizar la repercusión de las señales PLT recibidas en un emplazamiento receptor para los estudios de interferencia de las radiocomunicaciones terrenales.

³³ HELD, J. [2006] *Understanding Broadband over Power Line*. Auerbach Publications.

³⁴ BITKOM-Informationen zu Anwendungen der Powerline-Technologie, Stand, marzo de 2006.

³⁵ BPL Today, 11 de abril de 2006, p.3.

A2.4.2 Estudio de la NTIA sobre la propagación ionosférica y la acumulación de emisiones PLT de acceso

A2.4.2.1 Introducción

El objetivo de este estudio es examinar y analizar los posibles efectos que causaría la implantación generalizada de la PLT de acceso en los niveles de ruido combinado a escala nacional. La interferencia PLT, de haberla, tendría un efecto combinado a causa de la propagación por onda ionosférica. Dado que los actuales sistemas PLT emplean las frecuencias de ondas decamétricas y que los modelos de líneas de alimentación eléctrica con PLT muestran que muchas de las emisiones PLT se radian hacia arriba, estas emisiones PLT en ondas decamétricas pueden recorrer muchas millas desde la fuente. Además, dado que el punto de escucha puede recibir emisiones PLT radiadas desde muchas fuentes, es concebible que se acumulen las señales, elevando el nivel de ruido de fondo del receptor e inutilizando las débiles señales deseadas. En general, la propagación por onda ionosférica se da en las frecuencias comprendidas entre 1,7 MHz y 30 MHz, como se indica en el estudio PLT Phase 1 de la NTIA³⁶.

A2.4.2.2 Modelización analítica de la propagación por onda ionosférica

Antecedentes

El análisis que aquí se presenta se realizó utilizando el software de predicción estadística de la propagación de ondas decamétricas VOACAP³⁷ y los modelos de líneas eléctricas aéreas y enterradas creados con el software NEC³⁸.

La NTIA utilizó VOACAP en modo «zona» para calcular las emisiones combinadas recibidas en múltiples puntos desde diversas instalaciones PLT. En el centro geográfico de cada condado de Estados Unidos, la NTIA situó emisores PLT efectivos, cada uno de ellos representando el total de emisiones PLT de su condado. Se realizaron secuencialmente simulaciones de propagación desde cada emisor efectivo a una cuadrícula fija de puntos de recepción que cubre el territorio continental de Estados Unidos, y los resultados se sumaron en el dominio de potencia. La NTIA realizó estas simulaciones para una amplia gama de condiciones horarias y de frecuencia.

Método

Modelos de líneas eléctricas

Para este Informe, la NTIA determinó el nivel de potencia radiada de cada emisor PLT efectivo utilizando un modelo de líneas eléctricas aéreas elaborado. Estos niveles se calcularon utilizando las directrices de medición adoptadas en el *PLT Report and Order* de la FCC³⁹. La NTIA calculó la potencia radiada emitida por el modelo de líneas eléctricas que se ajustaría a los límites de la Parte 15, y el resultado se ajustó en escala al modelo de implantación de la NTIA y a la población del condado hasta obtener la potencia de salida de cada emisor PLT efectivo (Cuadro A2-1).

³⁶ NTIA Phase 1 Study, Vol. I, at section 5.2.2, disponible en <http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl/index.html>.

³⁷ NTIA/ITS ionospheric propagation software package, que se puede descargar en <http://www.greg-hand.com/hfwin32.html>.

³⁸ Numeric Electromagnetic Code method-of-moments electromagnetic modeling software. Se puede descargar a través de la página del Lawrence Livermore National Laboratory: https://ipo.llnl.gov/?q=technologies-software-browse_software-app&s=NEC.

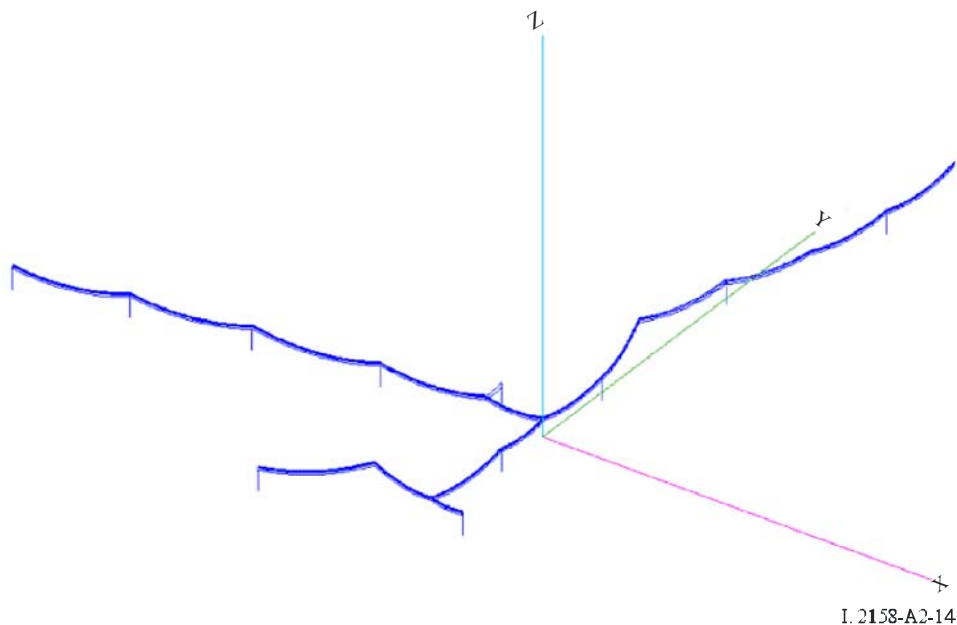
³⁹ BPL Report and Order, at Appendix C, Measurement Guidelines 2.b.

El modelo aéreo se basa en una estructura de líneas eléctricas reales en la que la NTIA efectuó las mediciones de emisiones PLT (Figs. A2-14 y A2-15). El modelo se creó con la ayuda de observaciones y mediciones realizadas *in-situ*, y el diseño para la simulación se realizó con NEC-4.1. Manteniéndose lo más cerca posible de las limitaciones del programa, pero dentro de las mismas, este modelo se diseñó para ajustarse a las características reales de la red de alimentación, incluida la utilización de catenarias, la correcta situación de las cargas de transformadores, la altura de los hilos y su posicionamiento en los postes eléctricos, los hilos de puesta a tierra, los elevadores, la situación de los postes y las conexiones de los hilos.

La dimensión total del modelo es de unos 328 m en el eje x y de unos 435 m en el eje y. La altura de las líneas eléctricas es de 12 m. El espaciamiento de las líneas es de 0,6 m con una línea neutra puesta a tierra en varios puntos situada 1 m por debajo de las demás líneas. Todos los hilos tienen un diámetro de 12,6 mm y poseen la conductividad del cobre ($5,8 \times 10^7$ S/m). El plano de tierra del modelo (una estructura terrestre plana por debajo de los hilos) tiene las características típicas del suelo «bueno» (constante dieléctrica de 15,0, conductividad de 0,005 S/m).

FIGURA A2-14

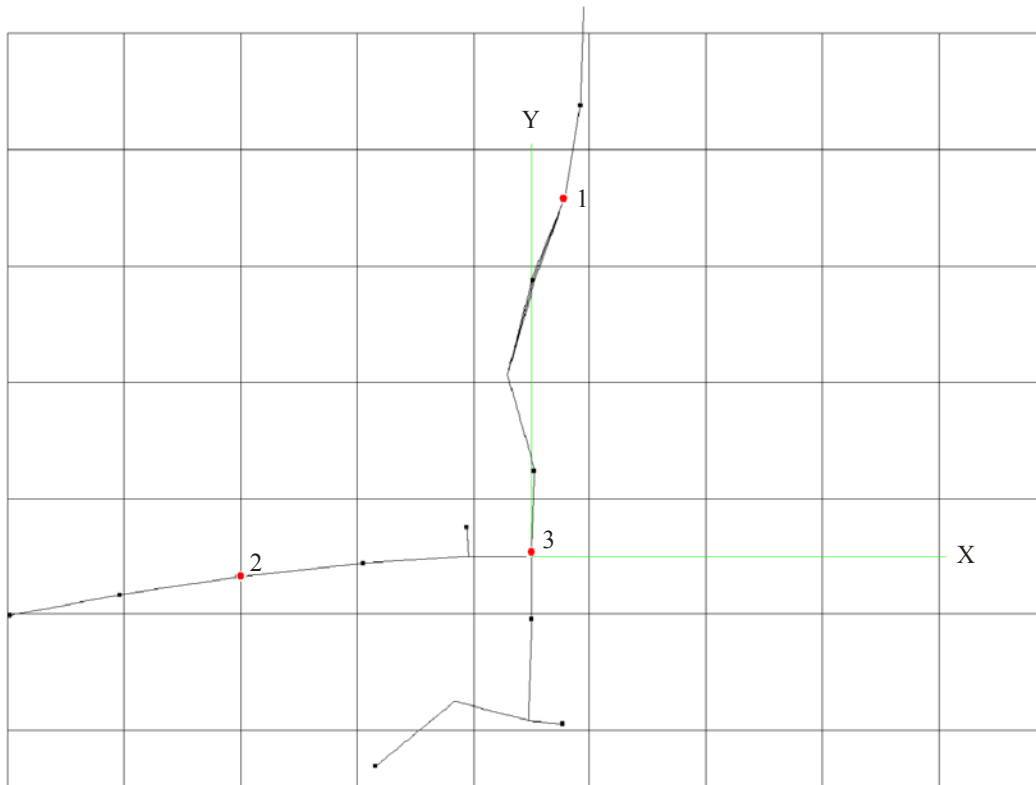
Vista lateral del modelo de líneas eléctricas aéreas elaborado



I. 2158-A2-14

FIGURA A2-15

**Proyección ortogonal del modelo de líneas eléctricas con puntos de inyección PLT (puntos rojos).
Se utilizaron para el análisis 3 puntos de inyección. Los puntos negros indican
los transformadores de distribución (cargas de impedancia a neutro)**

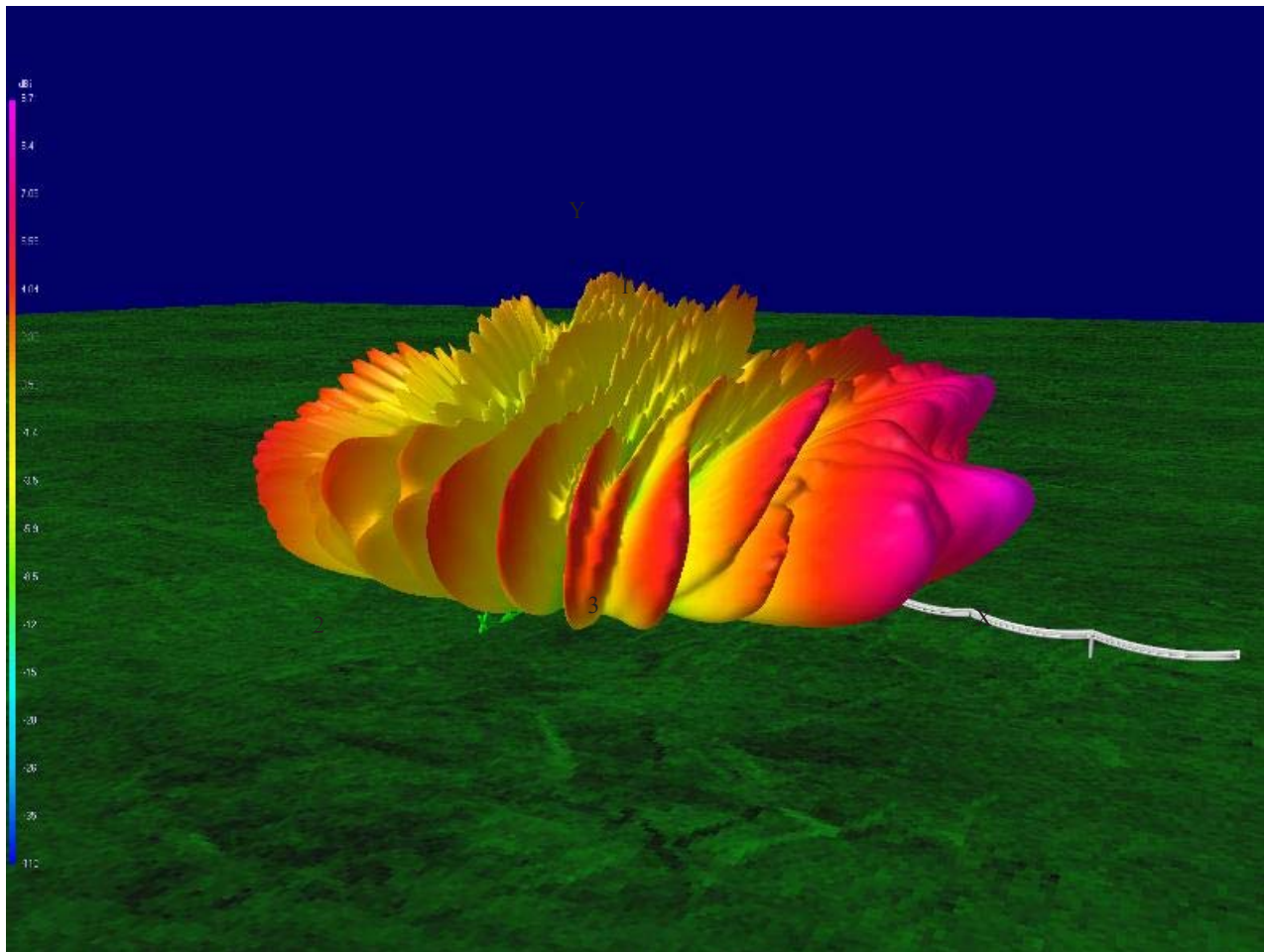


I. 2158-A2-15

En la Fig. A2-16 se muestra un ejemplo de cálculo del diagrama de radiación realizado con este modelo. El diagrama de radiación se calculó para 16 MHz.

FIGURA A2-16

**Ejemplo de diagrama de radiación con ganancia directa de campo lejano a 16 MHz,
utilizando la inyección de señal en el punto de inyección 3**



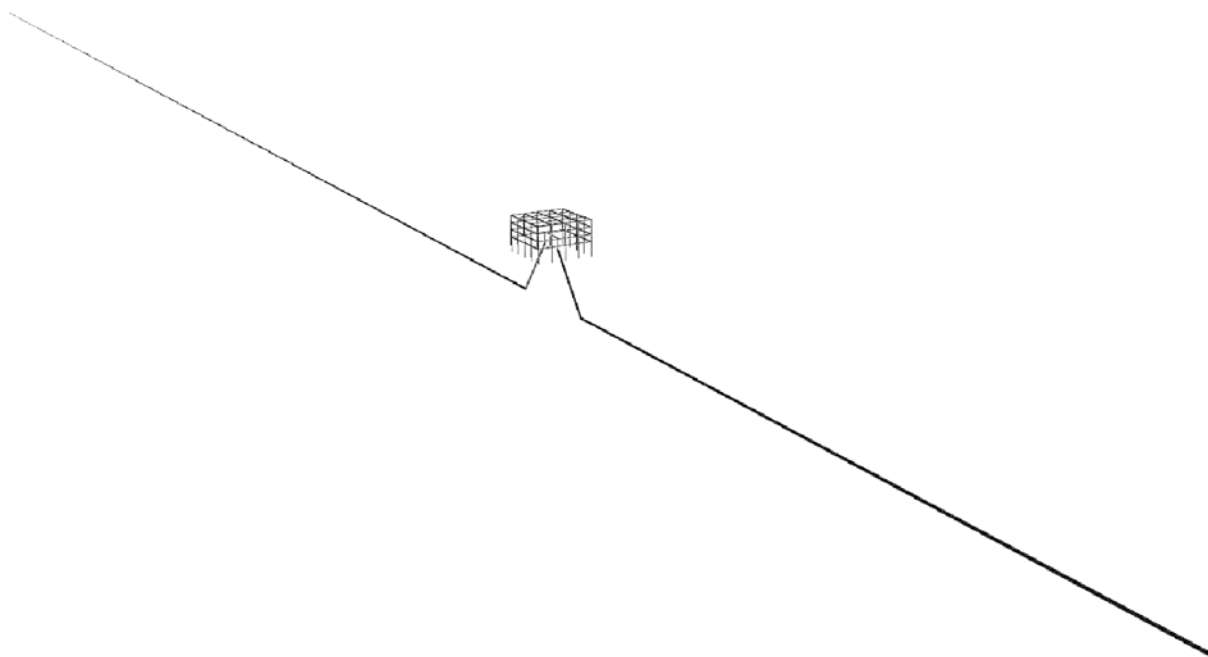
I. 2158-A2-16

La NTIA creó otro modelo NEC de sistema PLT subterráneo (Figs. A2-17 y A2-18). Al igual que con el modelo aéreo, la NTIA utilizó NEC para derivar los diagramas de radiación con ganancia directa dependiente de la frecuencia y la potencia radiada necesaria para ajustarse a los límites de la Parte 15 a partir del modelo subterráneo. También esta vez los cálculos de la potencia radiada se realizaron utilizando las nuevas directrices de medición de PLT del *PLT Report and Order*⁴⁰. En el Cuadro A2-1 se enumeran los niveles de potencia radiada.

⁴⁰ BPL Report and Order, at Appendix C, Measurement Guidelines 2.b.

FIGURA A2-17

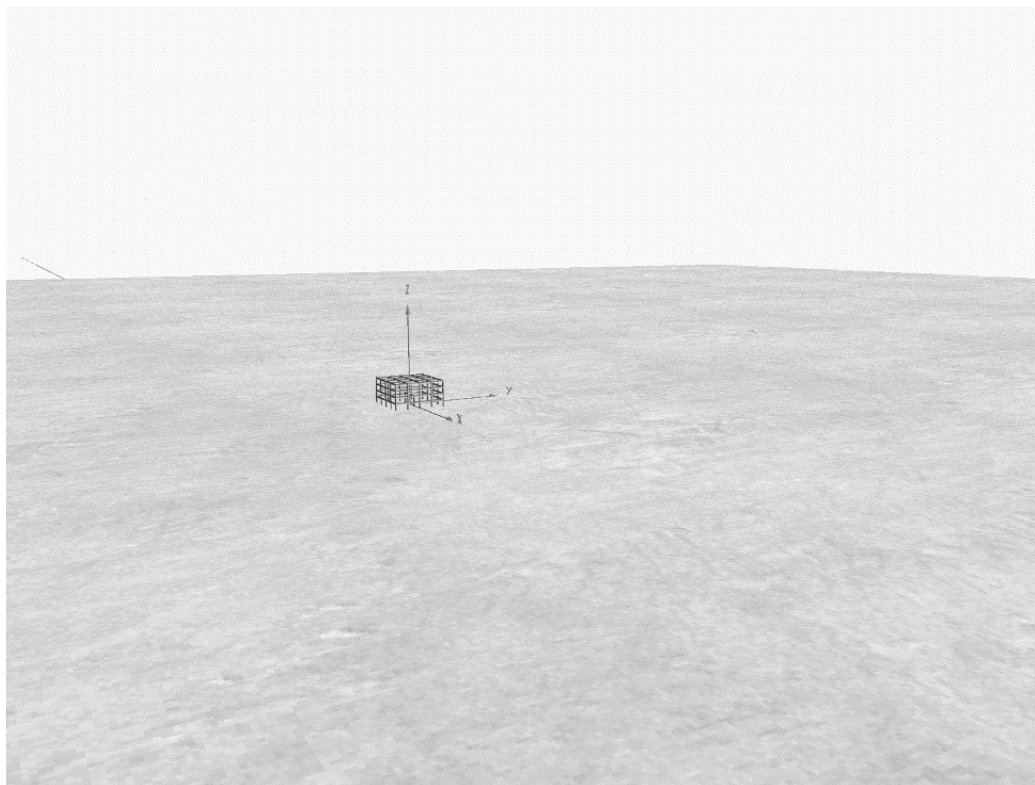
Modelo de líneas eléctricas subterráneas sin suelo. La línea subterránea, incluidos los tres hilos neutros que rodean el hilo dieléctricamente aislado central, recorre 340 m de extremo a extremo.



I. 2158-A2-17

FIGURA A2-18

Modelo de líneas eléctricas subterráneas con suelo. El repartidor visible representa un transformador de paneles, donde está instalada la fuente PLT



I. 2158-A2-18

CUADRO A2-1

Potencia radiada PLT estructural al límite de la Parte 15

Frecuencia (MHz)	Potencia radiada (dBW/Hz)	
	Aéreo	Subterráneo
2	-103,04	-94,26
4	-106,71	-87,84
6	-104,38	-84,66
8	-102,99	-82,73
10	-102,89	-83,29
12	-102,93	-79,38
14	-104,06	-78,43
16	-106,32	-74,75
18	-97,48	-75,16
20	-103,48	-79,52
22	-104,29	-81,67
24	-101,04	-82,24
26	-105,71	-82,45
28	-100,98	-83,47
30	-98,04	-84,28

No se espera que la potencia radiada calculada con NEC para las estructuras subterráneas sea mayor, pues las pérdidas del suelo en los diagramas de ganancia directiva calculados con NEC atenúan consecuentemente esta potencia de manera notable. Por tanto, se supone que el modelo subterráneo de la NTIA radia bastante más potencia que los sistemas aéreos, aun ajustándose a los límites de la Parte 15. Tanto con el modelo aéreo como con el subterráneo, la mayor variabilidad de la potencia radiada en función de la frecuencia se debe sobre todo al gran aumento de la complejidad del modelo utilizado, en comparación con trabajos anteriores.

En el *PLT Report and Order* se especifica que las mediciones de conformidad se han de realizar a intervalos de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda en sentido descendente a lo largo de la línea eléctrica desde el dispositivo PLT hasta una distancia de una longitud de onda de la frecuencia media de la banda, a una altura de 1 m.⁴¹

Los niveles de potencia radiada se derivaron excitando los modelos NEC en cuestión con una unidad de tensión, encontrando los valores de campos magnéticos o eléctricos mediante la simulación NEC en los puntos correspondientes a cada modelo, como se especifica en las directrices de medición de PLT y transponiendo todos los valores de campo eléctrico obtenidos al dividiendo del campo eléctrico calculado dividido por el límite de la Parte 15. Para traducir este valor al dominio de potencia, se ajustaron los niveles de potencia radiada calculados con NEC por el cuadrado de este factor.

⁴¹ BP Report and Order, at Appendix C, Measurement Guidelines 2.b.2, para la descripción de mediciones adicionales que pueden resultar necesarias si la frecuencia de media banda de la señal PLT es dos o más veces superior a la señal PLT más baja inyectada en la línea eléctrica.

Utilización de la voz del programa de análisis de cobertura de América

La NTIA calculó los valores de interferencia PLT y de potencia de ruido artificial utilizando el modo zona de VOACAP en una cuadrícula de 31×31 puntos fijos de recepción que cubre el territorio continental de EE.UU. y está centrada en Kansas City, Missouri⁴⁰. La NTIA asumió la densidad de implantación de PLT basándose en parte en los datos del Censo de Estados Unidos para simular los emisores PLT efectivos en el centro geográfico de cada condado de Estados Unidos de América (incluidos Alaska y Hawái)⁴². A estos emisores se les dieron diagramas de radiación con ganancia directiva dependiente de la frecuencia calculados utilizando el modelo de líneas eléctricas aéreas o el modelo subterráneo de NEC y ubicados en el centro geográfico de cada condado. Los diagramas de radiación utilizados se mediaron aritméticamente en acimut para simular la orientación aleatoria de las múltiples líneas eléctricas con PLT representadas por cada emisor efectivo.

Para el modelo de líneas eléctricas aéreas elaborado, la NTIA realizó simulaciones de combinación ionosférica con una serie de 8 500 combinaciones de condiciones (incluidos todos los meses del año, horas del día, niveles altos y bajos de actividad solar y frecuencias entre 2 y 30 MHz en incrementos de 2 MHz). La NTIA utilizó estas simulaciones para calcular la relación interferencia más ruido/ruido, $(I + N)/N$, habida cuenta del gran número de dispositivos PLT implantados⁴³. Los resultados que aquí se presentan se examinaron en términos de combinaciones de condiciones que producen los aumentos más desfavorables del ruido de fondo del receptor local.

Se realizaron análisis de propagación similares con el modelo subterráneo utilizando una amplia muestra de horas del día, frecuencias, meses del año y condiciones solares (más de 1 300 combinaciones de condiciones), incluidas las mismas que dieron las mayores relaciones interferencia/ruido con el modelo de líneas eléctricas aéreas como emisor.

VOACAP facilita resultados de propagación en términos de relación señal/ruido (SNR). En el Cuadro A2-2 se ve cómo se traducen los valores SNR obtenidos con VOACAP en incrementos del ruido de fondo.

CUADRO A2-2

Incremento del ruido de fondo, $(I + N)/N$, como función de la SNR

Incremento del ruido de fondo, $(I + N)/N$ (dB)	SNR (dB)
3	0
1	-5,868
0,5	-9,135
0,1	-16,327
0,05	-19,363
0,01	-26,373
0,005	-29,386

⁴² NTIA Comments, at Technical Appendix, sec. 4.2, disponible en: http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/BPLTechAppdx_06042004.doc. Véase también County and City Data Book: 2000, U.S. Census Bureau, National Data Summary File 1, Table P-15.

⁴³ En este Informe, $(I + N)/N$ también se denomina incremento del ruido de fondo.

A2.4.2.3 Características de la simulación

La NTIA realizó simulaciones tanto con el parámetro número medio de manchas solares (SSN, *smoothed sunspot number*) puesto a un valor alto (150), para simular las excelentes características de propagación presentes durante la cresta del ciclo solar de 11 años, como puesto a un valor (25) para simular las reducidas características de propagación existentes en el punto más bajo del ciclo solar. Habida cuenta del diseño del software, todos los puntos receptores utilizaron la antena monopolo vertical de un cuarto de onda de VOACAP (tipo 22) sobre suelo con una constante dieléctrica $\epsilon_r = 15$ y una conductividad, σ , puesta a 0,005 S/m.⁴⁴ En realidad, las características del suelo en los Estados Unidos de América son muy variables y oscilan entre muy malas ($\epsilon_r = 3$ y $\sigma = 0,001$ S/m) y excelentes ($\epsilon_r = 20$ y $\sigma = 0,030$ S/m).

El nivel de ruido artificial se fijó al nivel distante o rural tranquilo (−164 dBW/Hz a 3 MHz) para todos los puntos receptores a fin de representar de la mejor manera posible las condiciones de recepción de muchos emplazamientos del Gobierno de Estados Unidos⁴⁵. Al igual que con las antenas receptoras, el diseño del software permite asignar un nivel de ruido artificial a todos los puntos receptores de la cuadrícula de cálculo de VOAAREA. Los niveles de ruido artificial reales en Estados Unidos pueden oscilar desde las condiciones rurales tranquilas a los niveles muy altos de ruido que se encuentran en las zonas industriales.

La NTIA adaptó uno por uno los niveles de potencia radiada calculados por NEC de cada emisor efectivo del condado al número de dispositivos PLT activos que se supone habrá en los hogares urbanos de cada condado. Los hogares urbanos (como los define la Oficina del Censo de Estados Unidos) se emplearon en este análisis, pues presentan una mayor densidad de implantación que los hogares rurales y, por tanto, tienen más probabilidades de representar la mayoría de implantaciones del servicio PLT de acceso. Como en el análisis anterior, la NTIA asumió que el inyector PLT tenía una capacidad de tratamiento de datos suficiente para soportar una media de 30 clientes, y que 1 de cada 4 hogares urbanos era un cliente PLT. Dicho de otro modo, se asumió la presencia de un inyector PLT por cada 120 hogares. Al haber cerca de 85 millones de hogares urbanos en Estados Unidos, este supuesto dio como resultado para el modelo más de 705 000 dispositivos PLT que analizar⁴⁶.

⁴⁴ VOAAREA permite fijar la longitud de la antena vertical a un valor fijo en metros o que varía en función de la frecuencia. En este análisis se supuso que un receptor sujeto a una posible interferencia en cualquier frecuencia utilizaría una antena diseñada para esa frecuencia, por lo que, en este caso, la antena se fijó a una longitud de cuarto de onda para cada frecuencia (por ejemplo, 7,5 m a 10 MHz). VOACAP ajusta automáticamente esta longitud de manera que el diagrama de recepción sea el mismo independientemente de la frecuencia. Como procede para una antena monopolo, la ganancia máxima de la antena a cualquier altura se fijó en 3 dB por encima de la de dipolo.

⁴⁵ El nivel de ruido utilizado en este análisis se basa en la Recomendación UIT-R P.372, utilizada por VOACAP/VOAAREA.

⁴⁶ NTIA Comments, at Technical Appendix, § 4.

Se tuvieron en cuenta otros factores a la hora de predecir el incremento del ruido de fondo del receptor. En primer lugar, la NTIA consideró que no todos los dispositivos PLT funcionarán al límite de la Parte 15, por lo que se supuso que la señal radiada media era 4 dB inferior al límite de la Parte 15. En segundo lugar, el análisis VOAAREA se basó en valores cuadráticos medios (RMS), por lo que se realizó un ajuste para convertir el nivel de la señal PLT de cuasi-cresta, medido de conformidad con los límites de la FCC, al nivel RMS.⁴⁷ En tercer lugar, dado que no todos los dispositivos del sistema funcionan en la misma frecuencia⁴⁸, se dejó un margen de 6 dB (es decir, se asumió que 1 de cada 4 inyectores PLT funcionaban en la misma frecuencia). Por último, se asumió que el ciclo de funcionamiento de los dispositivos PLT era de una media del 55 %. Los ajustes de los niveles de potencia radiada se muestran en el Cuadro A2-3.

CUADRO A2-3

Factores de ajuste para los dispositivos PLT de acceso

Factor	Ajuste (dB)
Dispositivos que funcionan a un nivel inferior a los límites de la Parte 15	-4
Conversión cuasi-cresta-rms	-3
Factor de distribución cofrecuencia	-6
Ciclo de funcionamiento	-2,6
Total	-15,6

Los puntos de recepción en la cuadrícula de cálculo VOAAREA utilizan anchuras de banda de 1 Hz (determinada mediante el ajuste de la potencia de señal PLT interferente radiada de cada punto transmisor a la potencia (dB(W/Hz)). Los niveles de potencia de ruido obtenidos con VOAAREA se expresan en dB(W/Hz). La potencia de la señal recibida procedente de todos los emisores PLT efectivos en un determinado punto de recepción se sumó en el dominio de potencia, independientemente del nivel de potencia de ruido, y la suma de potencia interferente PLT resultante y la potencia de ruido en ese punto se utilizaron para calcular la relación interferencia/ruido. Por consiguiente, la relación interferencia/ruido combinada en un punto se calculó para una anchura de banda de 1 Hz.

⁴⁷ La elección del factor de conversión cuasicresta-rms se basa en los datos de medición del Estudio Fase 1 de la NTIA, que indicaba que la potencia de la señal PLT medida utilizando un detector de cuasicresta normalmente rebasaba el nivel medido con un detector medio en 0 – 5 dB. NTIA Phase 1 Study, Vol. II, Section D.3.4.

⁴⁸ NTIA Phase 1 Study, Vol. I, Section 2.2.

En el Cuadro A2-4 se resumen los supuestos indicados anteriormente, tal y como se aplicaron a esta simulación.

CUADRO A2-4
Condiciones de la simulación

Emisores PLT efectivos	Modelo aéreo	Modelo subterráneo
Excitación	Fuente de tensión en una única línea en posición central	Fuente de tensión en transformador de paneles en posición central
Diagrama de campo lejano		
Fuente	Modelo aéreo NEC-4.1	Modelo subterráneo NEC-4.1
Variabilidad	Mediada en el acimut, variable en función de la elevación y la frecuencia	
Tipo	Ganancia directiva	
Nivel de potencia		
Fuente	Modelo aéreo NEC-4.1	Modelo subterráneo NEC-4.1
Límites de las emisiones estructurales	Limitadas por los límites de la Parte 15, medidos utilizando las directrices de medición de PLT	
Escala a nivel de condado	En función de los hogares urbanos del condado	
Parámetro utilizado	Valor «potencia radiada» de NEC-4.1 (especificada como la potencia de salida después de las pérdidas estructurales, pero no las debidas al suelo)	
Situación	Centros geográficos de todos los condados de Estados Unidos de América	
Antenas receptoras		
Tipo de antena	Monopolo de cuarto de onda (VOACAP tipo 22)	
Condiciones del suelo	Suelo «medio»	
Conductividad	0,005 S/m	
Permisividad relativa	15	
Situación	Cuadrícula de 31 × 31 puntos receptores por todos los condados de Estados Unidos	
Ruido	Condiciones de ruido «rural tranquilo» a 3 MHz (−164 dB(W/Hz))	
Simulación		
Frecuencias	De 2 a 30 MHz en incrementos de 2 MHz	
Horas del día	De 0 a 23 horas UTC en incrementos de 1 hora	
Meses del año	De enero a diciembre	
Condiciones solares	Número medio de manchas solares (SSN) 25 y 150	
Geometría del trayecto primario	Trayecto corto	
Metodología de cálculo	Alisamiento del trayecto corto/largo	
Parámetros calculados	Intensidad de la señal recibida, ruido recibido	
Factor de ajuste de potencia	−15,6 dB (detallado en el Cuadro A2-3)	

A2.4.2.4 Resultados de la simulación

Para evaluar si un determinado nivel de señal PLT combinada presenta un riesgo de interferencia perjudicial para los receptores de radiocomunicaciones del Gobierno de Estados Unidos, la NTIA consideró dos valores umbral de $(I + N)/N$, o incremento del ruido de fondo del receptor⁴⁹. El umbral más bajo, un incremento de 1 dB del ruido de fondo (correspondiente a una relación interferencia/ruido PLT de aproximadamente -5,9 dB), se escogió como nivel al que puede causarse alguna interferencia perjudicial. El umbral más alto, un incremento del ruido de fondo de 3 dB (que equivale a una relación interferencia/ruido PLT de 0 dB), se consideró como el nivel en el que el riesgo de interferencia perjudicial es importante.

El análisis de las consecuencias de la combinación PLT se efectuó combinando los niveles de señal PLT de los sistemas PLT aéreo y subterráneo modelizados con niveles de ruido de fondo, de manera que la combinación llegase a los umbrales indicados. Este análisis permitió a la NTIA examinar los efectos de combinación ionosférica variando al mismo tiempo los valores relativos de los sistemas aéreo y subterráneo.

Comparación de los resultados de los análisis de los sistemas aéreo y subterráneo

Las simulaciones revelaron que los sistemas aéreos producen niveles de señal combinada muy superiores a los sistemas subterráneos, incluso cuando ambos sistemas se ajustan a los límites de la Parte 15. El valor medio de la señal PLT combinada del sistema aéreo es de unos 20 dB superior al de los sistemas subterráneos, con las mismas características de propagación ionosférica y todas las condiciones previstas en los modelos. Este hallazgo sugiere que, siempre que sea posible, la instalación de dispositivos PLT operativos en la gama de frecuencias 1,7 a 30 MHz en los cables subterráneos puede ofrecer muchas más ventajas que la implantación de los mismos dispositivos en el cableado aéreo, desde el punto de vista de la combinación de la señal a causa de la propagación ionosférica.

La repercusión relativa de la combinación PLT de sistemas aéreos y subterráneos puede verse gráficamente en los resultados siguientes. En las Figs. A2-19 y A2-20 se ilustra el número de dispositivos aéreos y subterráneos necesarios para causar un incremento de 1 dB o 3 dB más desfavorables del ruido de fondo en cualquier punto geográfico de Estados Unidos en las mejores condiciones de propagación y condiciones de ruido de fondo local más bajo.

Para realizar estos gráficos se empleó la modelización de combinación ionosférica a fin de derivar las condiciones de alta y baja actividad solar durante las cuales se producen las mayores relaciones señal/ruido a causa de la PLT combinada. Para las demás condiciones y puntos geográficos, la combinación calculada revela una menor repercusión en el ruido de fondo. Así, para la mayoría de condiciones calculadas, se necesitarían más dispositivos PLT para producir las mismas consecuencias en el ruido de fondo local que las que se muestran en las Figs. A2-19 y A2-20.

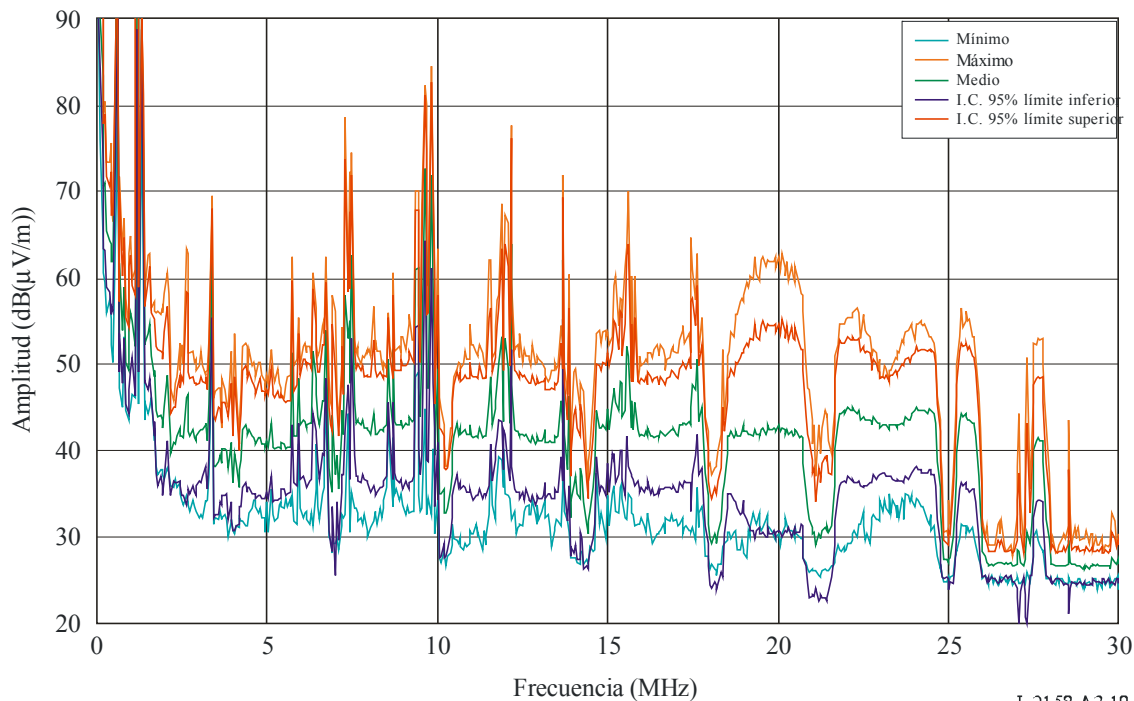
Los cálculos efectuados para los periodos de alta actividad solar indican que los niveles de señal PLT combinada máximos suelen darse en las frecuencias más altas de la banda de ondas decamétricas (18-30 MHz) durante las últimas horas de la tarde en otoño e invierno. Los cálculos efectuados para los periodos de baja actividad solar indican que los niveles de señal PLT combinada máxima se dan principalmente en las frecuencias más bajas de la banda de ondas decamétricas (4-8 MHz). Al igual que ocurre en caso de alta actividad solar, los máximos niveles de señal PLT combinada se dan durante las últimas horas de la tarde en otoño e invierno.

⁴⁹ El término «I» se refiere a la potencia de la señal interferente asociada con las emisiones PLT radiadas.

En la Fig. A2-19 se muestran las combinaciones de dispositivos PLT aéreos y subterráneos que producen un incremento del ruido de fondo de 1 dB (curva inferior) y de 3 dB (curva superior). Esta figura representa la combinación de propagación ionosférica y condiciones de ruido (15:00 UTC en noviembre a 30 MHz, con un alto grado de actividad solar) que producen el mayor nivel de señal PLT combinada en relación con el ruido de fondo local en cualquier punto geográfico. En estas condiciones, se podrían implantar más de 1,35 millones de dispositivos PLT aéreos antes de provocar un incremento de 1 dB en el ruido de fondo local de cualquier punto geográfico. Para llegar a un aumento de 3 dB se podrían instalar 5,23 millones. Si se reduce el número de dispositivos aéreos y se añaden dispositivos subterráneos, el número total de dispositivos PLT instalados podría aumentar drásticamente manteniéndose los niveles de incremento del ruido de fondo.

FIGURA A2-19

Número de dispositivos PLT subterráneos comparado con el número de dispositivos PLT aéreos que causarían el mismo incremento del ruido de fondo en condiciones de alta actividad solar

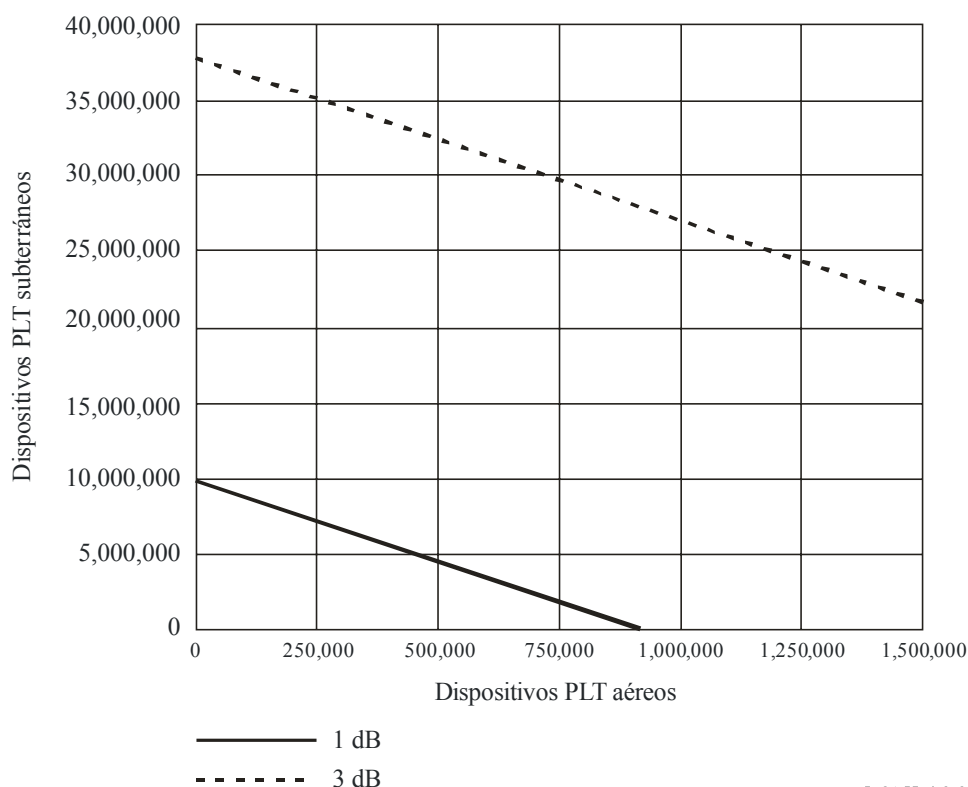


I. 2158-A3-19

En la Fig. A2-20 se muestra el número de dispositivos PLT aéreos en comparación con el número de dispositivos subterráneos que causarían incrementos de 1 dB y 3 dB en el ruido de fondo del receptor en condiciones de baja actividad solar. Al igual que ocurre cuando la actividad solar es máxima, se llegará al umbral de incremento con menos dispositivos cuando sólo se empleen dispositivos PLT aéreos. En estas condiciones, unos 916 000 dispositivos PLT aéreos bastarían para aumentar el ruido de fondo en 1 dB. Por el contrario, la utilización exclusiva de dispositivos PLT subterráneos en la gama de frecuencias 1,7-30 MHz permitiría la implantación de casi 10 millones de dispositivos PLT antes de que el ruido de fondo aumente 1 dB.

FIGURA A2-20

Número de dispositivos PLT subterráneos comparado con el número de dispositivos PLT aéreos que causarían el mismo incremento del ruido de fondo en caso de baja actividad solar



I. 2158-A2-20

A2.4.2.5 Mapas de combinación ionosférica

Las Figs. A2-21 a A2-33 muestran mapas de contorno de la relación interferencia/ruido PLT combinada (denominada señal/ruido) de todo el territorio continental de Estados Unidos de América para una serie de hipótesis de implantación de la PLT. Estos mapas combinan las contribuciones de potencia combinada de los dispositivos PLT aéreos y subterráneos con distintas distribuciones en función de la población, de manera que la máxima SNR PLT combinada en cualquier punto geográfico redunde en un incremento aproximado de 1 dB o 3 dB del ruido de fondo.

A causa de la manera en que VOACAP presenta los resultados, en la leyenda de los mapas de contorno sólo se indica la relación señal/ruido. Para facilitar la interpretación de las Figs. A2-22 a A2-33, se presenta en la Fig. A2-21 un mapa de contorno de muestra. La Fig. A2-21 ilustra la traducción de los valores de la leyenda a los respectivos incrementos del ruido de fondo. Las regiones más pálidas corresponden a mayores niveles de incremento del ruido de fondo a causa de la combinación de emisiones PLT. El punto o los puntos de cresta se identifican en los mapas de contorno con un símbolo circular con una cruz dentro.

FIGURA A2-21

Mapa de resultados VOAAREA de muestra donde se detalla el incremento del ruido de fondo para cada valor señal/ruido en la leyenda del mapa

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 1510000 subterráneos: 26,770,000

Ubicación de transmisor para cuadrícula de receptores

AREADATA \ HIGH_2_2\OUT477.V14

SNR

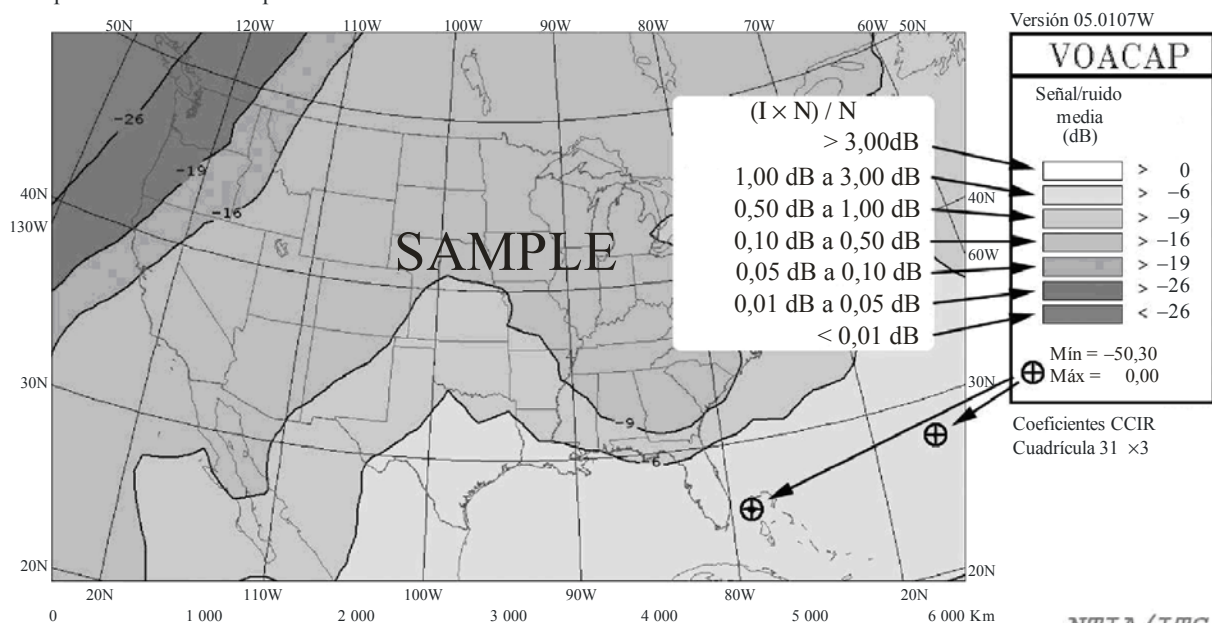


FIGURA A2-22

Combinación, en condiciones de alta actividad solar, debida a 24 095 730 dispositivos subterráneos, sin dispositivos aéreos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 1 dB

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 0 subterráneos: 24, 095, 730

Ubicación de transmisor para cuadrícula de receptores

AREADATA \ AGGS\AGGOUT_7.V11

SNR

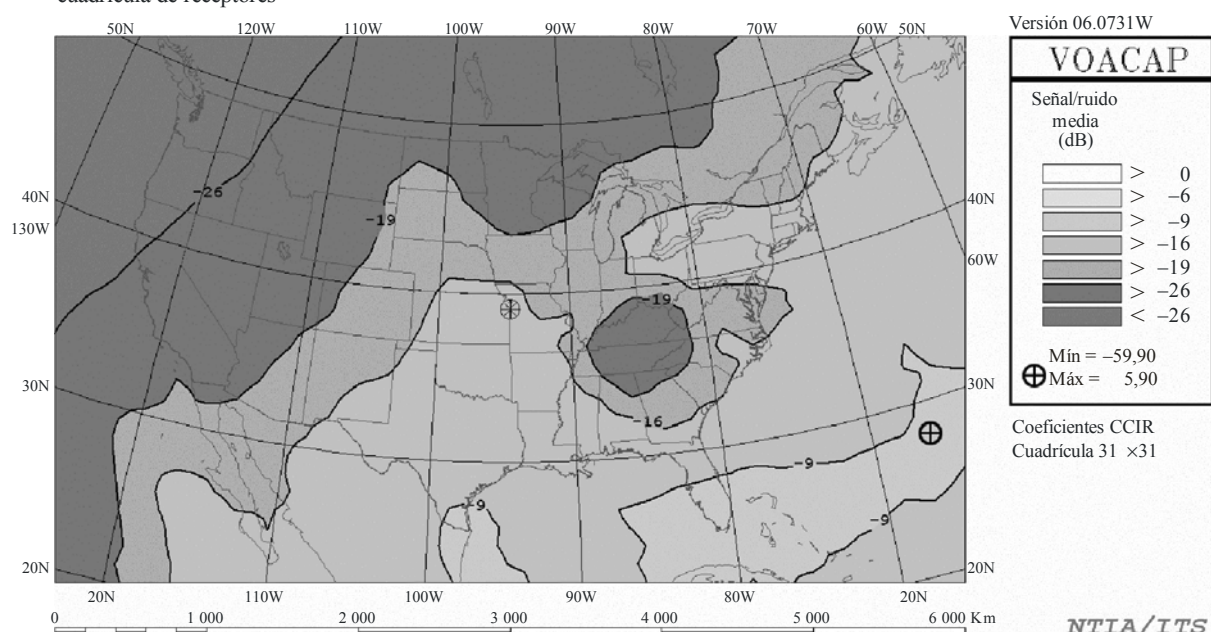


FIGURA A2-23

Combinación, en condiciones de alta actividad solar, debida a 12 047 865 dispositivos subterráneos y 760 168 dispositivos aéreos con un incremento máximo del ruido de fondo de 1 dB

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 760,168 subterráneos: 12, 047, 865

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_9.V11

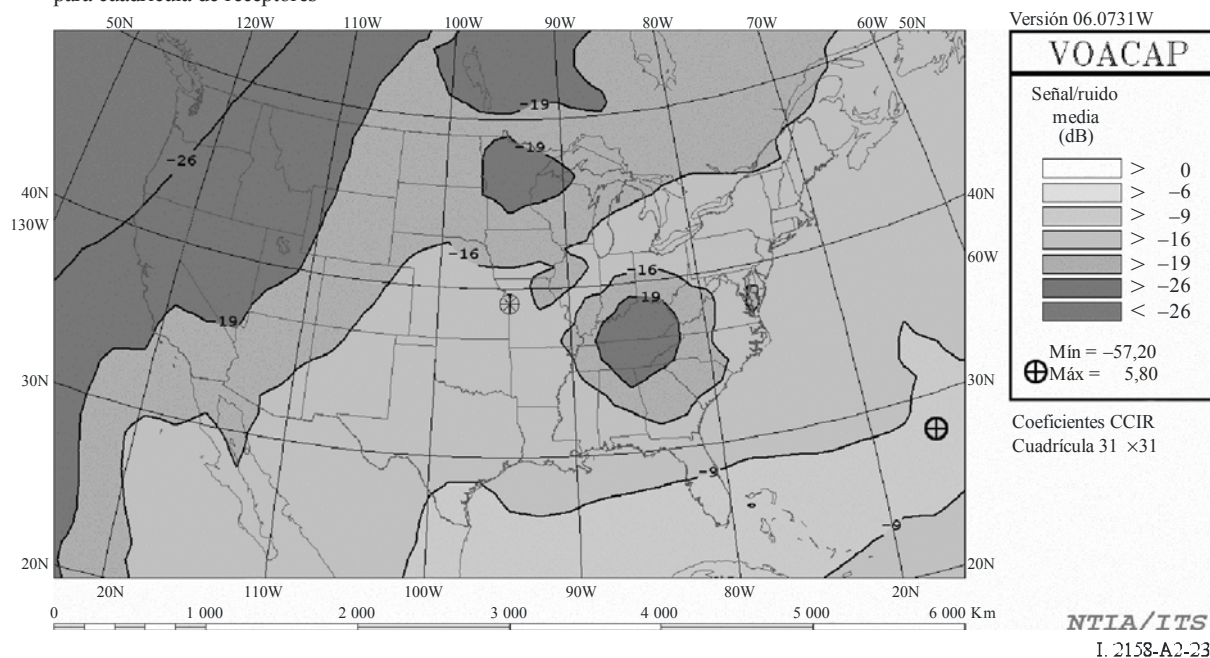


FIGURA A2-24

Combinación, en condiciones de alta actividad solar, debida a 1 355 002 dispositivos aéreos, sin dispositivos subterráneos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 1 dB

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 1,355,002 subterráneos: 0

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_11.V11

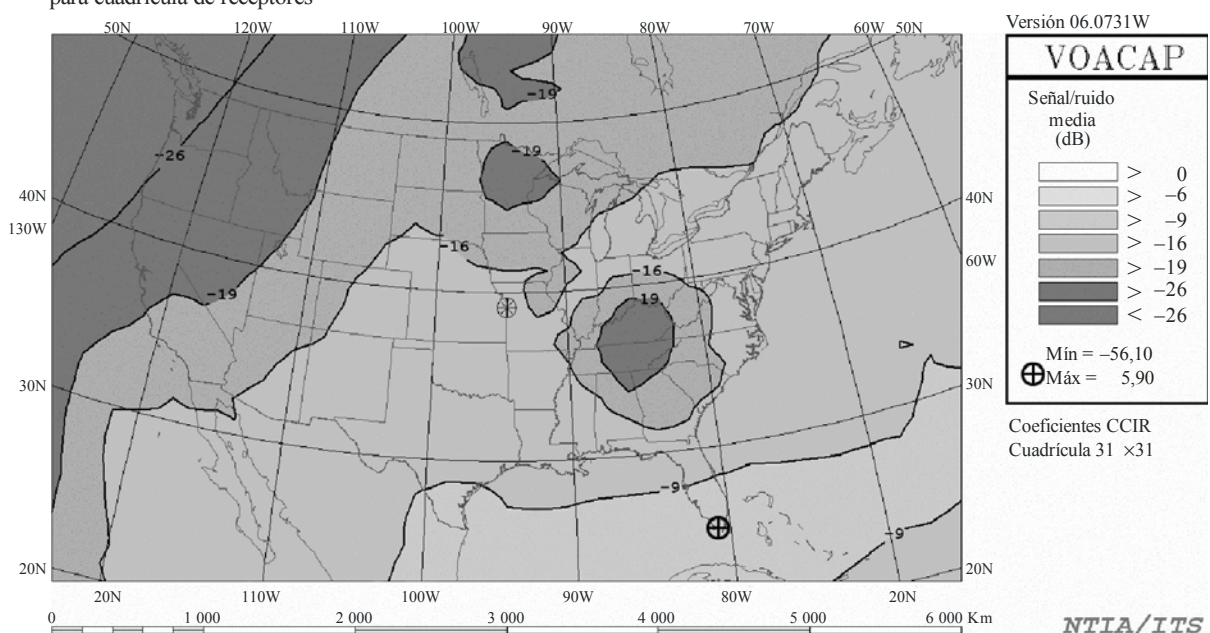


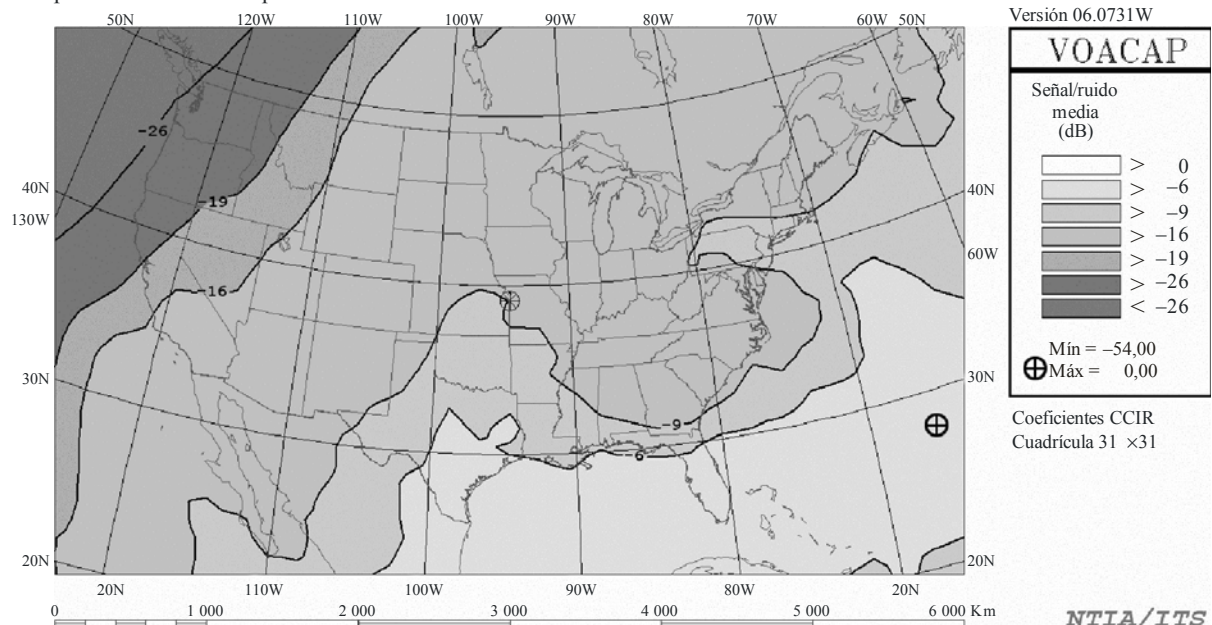
FIGURA A2-25

Combinación, en condiciones de alta actividad solar, debida a 93 055 084 dispositivos subterráneos, sin dispositivos aéreos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 3 dB

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 0 subterráneos: 93,055,084

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_8.V11



I. 2158-A2-25

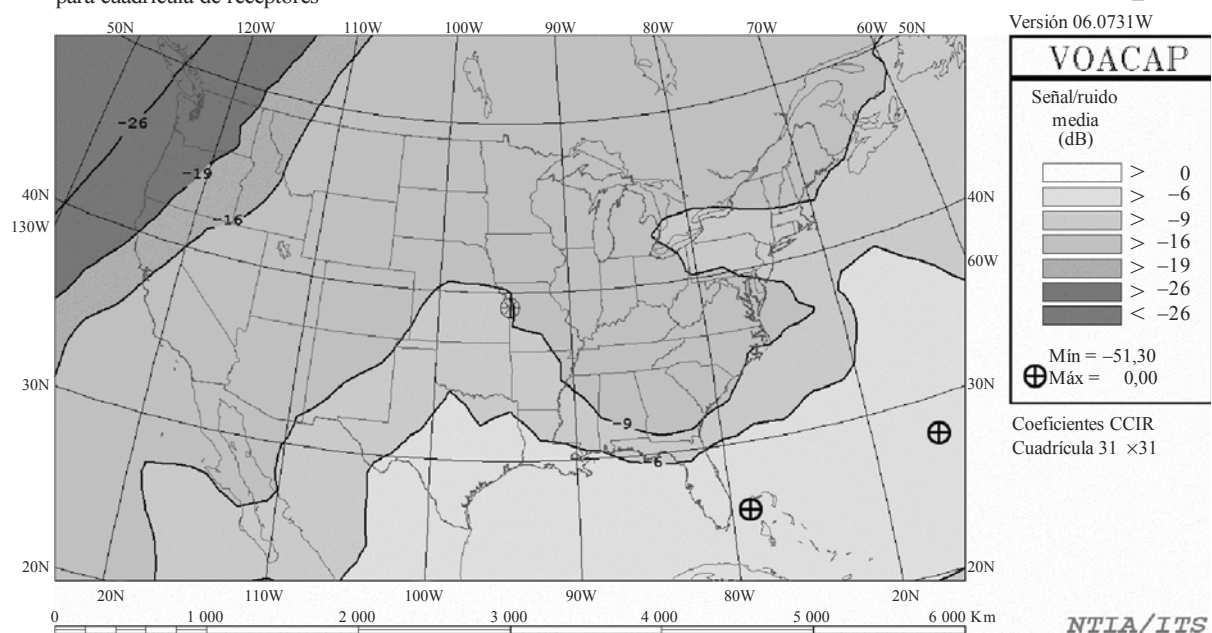
FIGURA A2-26

Combinación, en condiciones de alta actividad solar, debida a 46 527 542 dispositivos subterráneos y 2 935 689 dispositivos aéreos con un incremento máximo del ruido de fondo de 3 dB

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 2,935,689 subterráneos: 46,527,542

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_10.V11

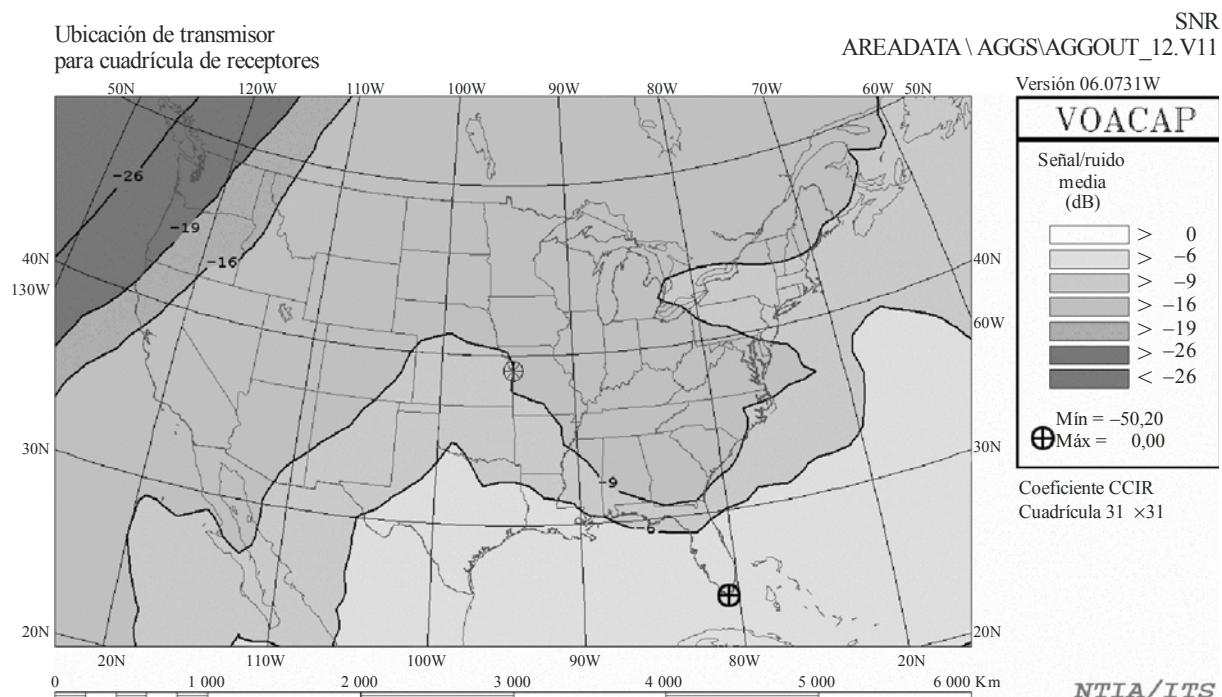


I. 2158-A2-26

FIGURA A2-27

Combinación, en condiciones de alta actividad solar, debida a 5 232 871 dispositivos aéreos, sin dispositivos subterráneos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 3 dB

15ut 30.000 MHz Nov 150ssn aéreos: 5,232,871 subterráneos: 0

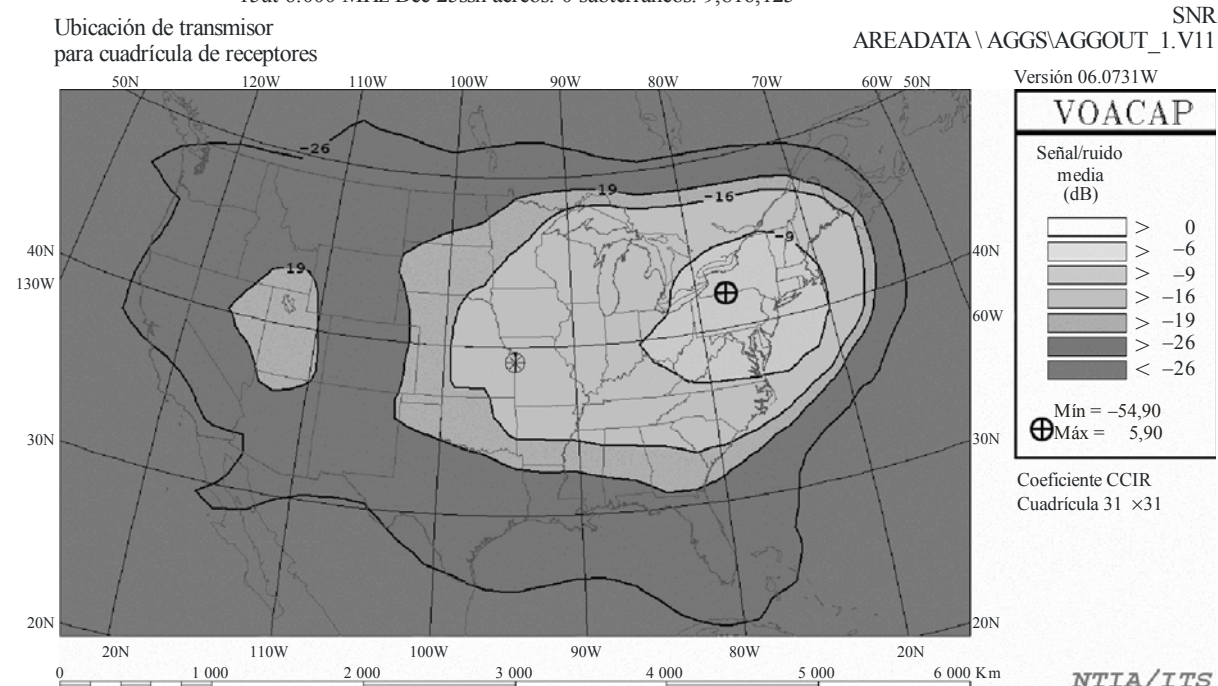


I. 2158-A2-27

FIGURA A2-28

Combinación, en condiciones de baja actividad solar, debida a 9 816 125 dispositivos subterráneos, sin dispositivos aéreos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 1 dB

15ut 6.000 MHz Dec 25ssn aéreos: 0 subterráneos: 9,816,125



I. 2158-A2-28

FIGURA A2-29

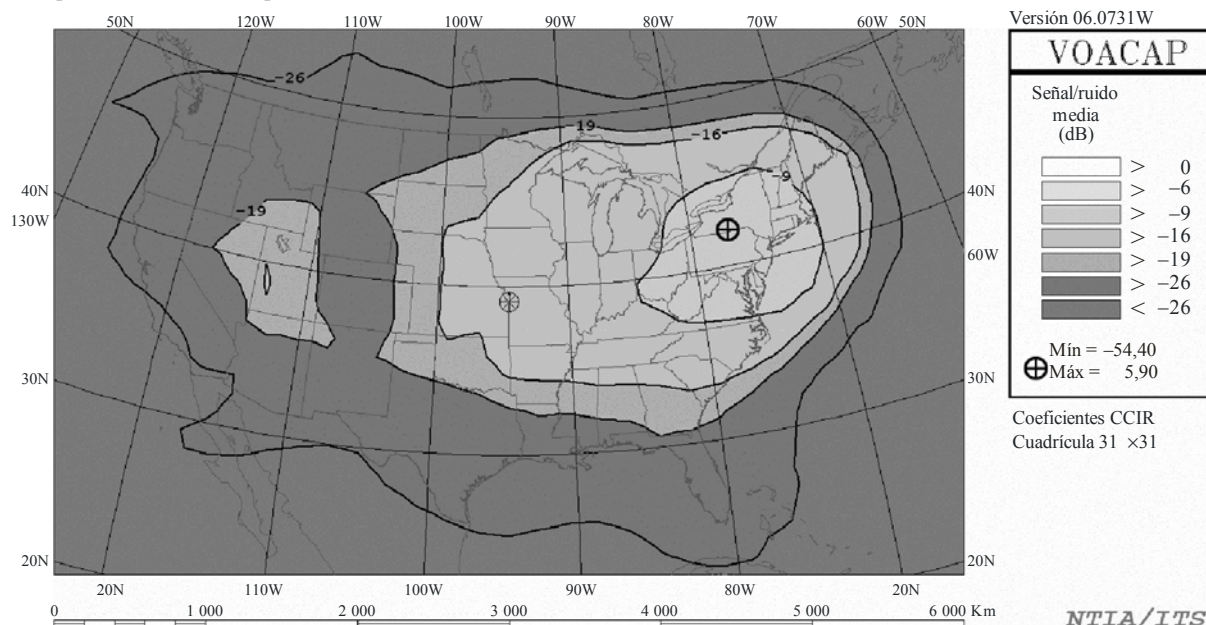
Combinación, en condiciones de baja actividad solar, debida a 4 908 062 dispositivos subterráneos y 458 047 dispositivos aéreos con un incremento máximo del ruido de fondo de 1 dB

15ut 6.000 MHz Dec 25ssn aéreos: 458,047 subterráneos: 4,908,062

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

AREADATA \ AGGS\AGGOUT_3.V11

SNR



I. 2158-A2-29

FIGURA A2-30

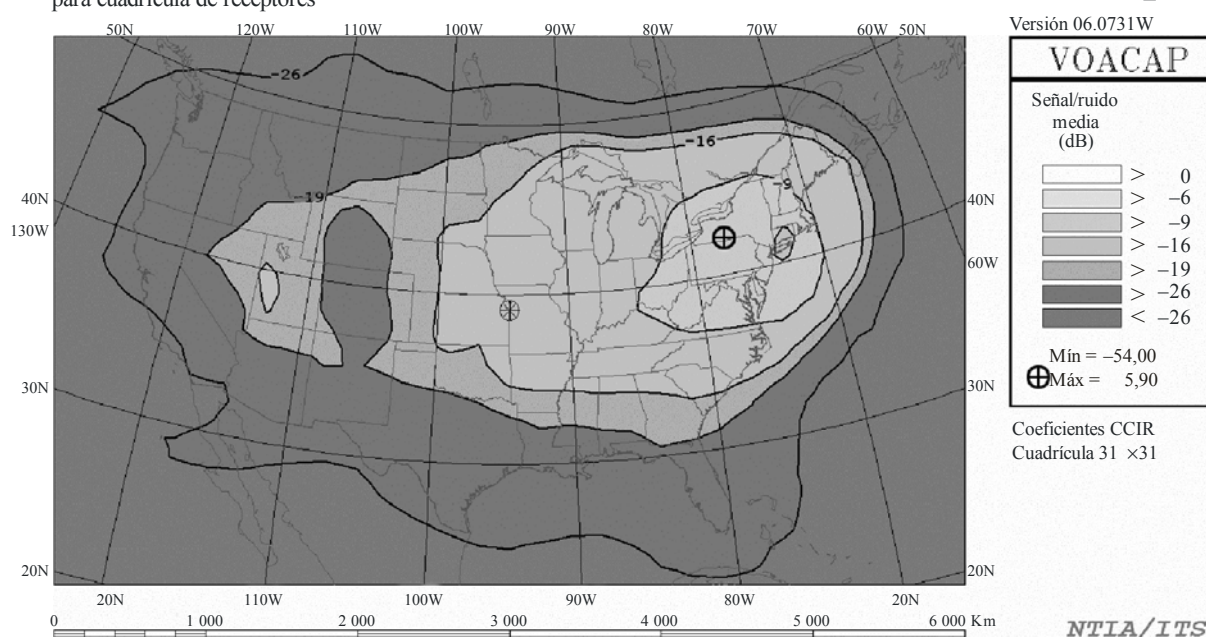
Combinación, en condiciones de baja actividad solar, debida a 916 094 dispositivos aéreos, sin dispositivos subterráneos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 1 dB

15ut 6.000 MHz Dec 25ssn aéreos: 916,094 subterráneos: 0

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

AREADATA \ AGGS\AGGOUT_5.V11

SNR



I. 2158-A2-30

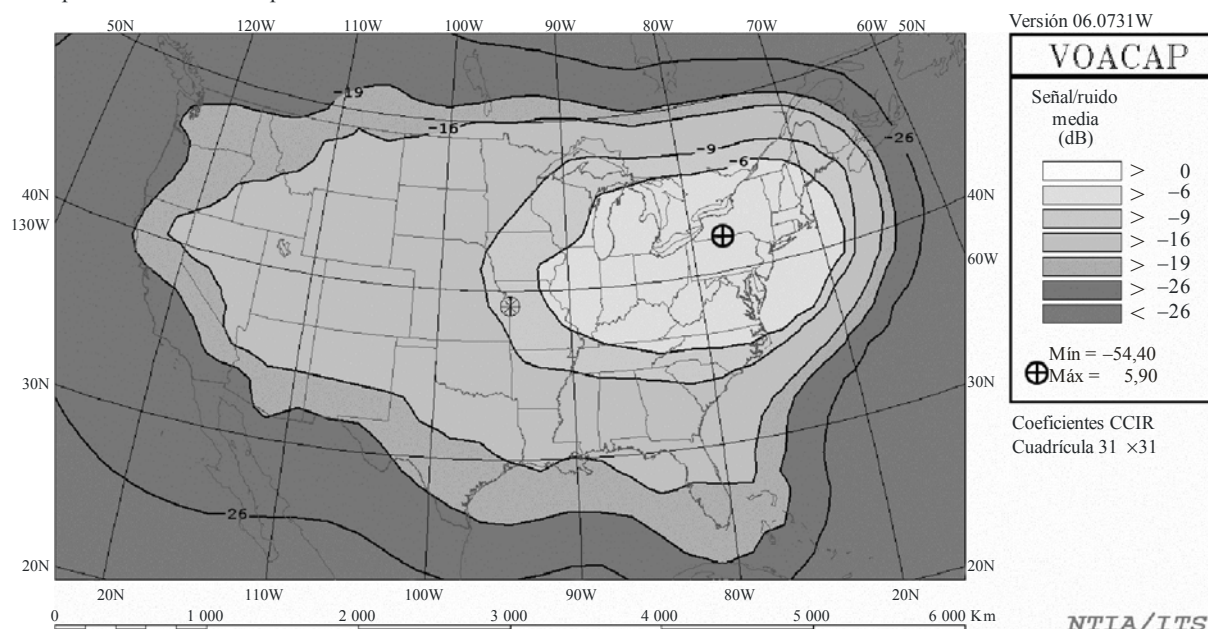
FIGURA A2-31

Combinación, en condiciones de baja actividad solar, debida a 37 908 805 dispositivos subterráneos, sin dispositivos aéreos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 3 dB

15ut 6.000 MHz Dec 25ssn aéreos: 0 subterráneos: 37,908,805

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_2.V11



I. 2158-A2-31

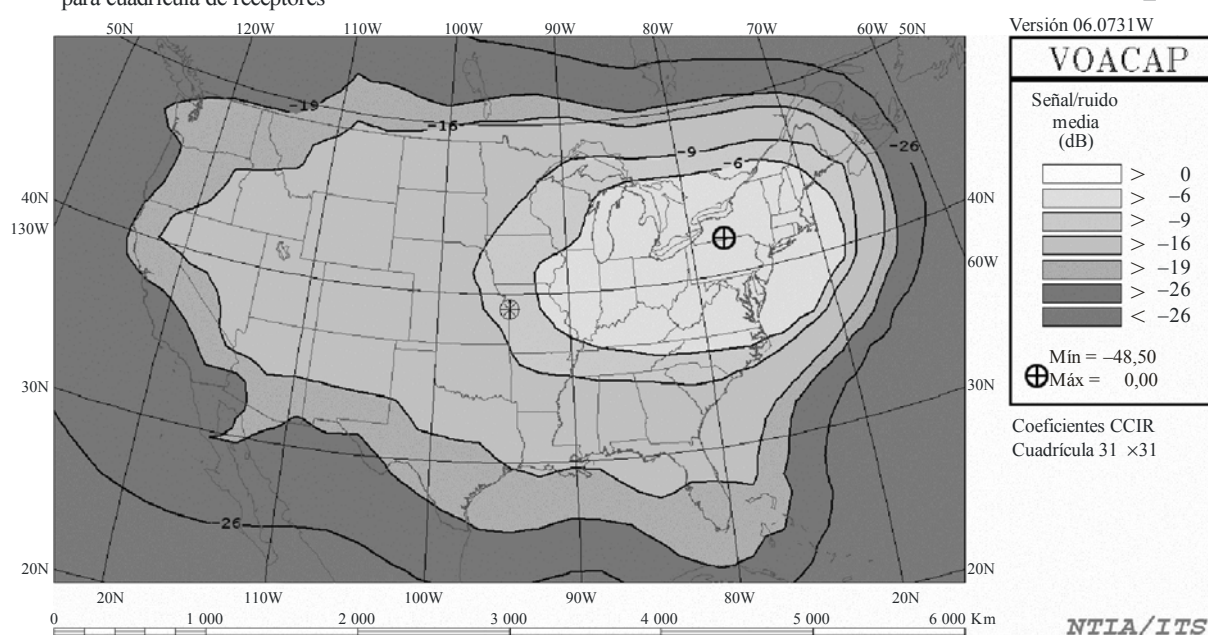
FIGURA A2-32

Combinación, en condiciones de baja actividad solar, debida a 18 954 402 dispositivos subterráneos y 1 768 927 dispositivos aéreos con un incremento máximo del ruido de fondo de 3 dB

15ut 6.000 MHz Dec 25ssn aéreos: 1,768,927 subterráneos: 18,954,402

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_4.V11



I. 2158-A2-32

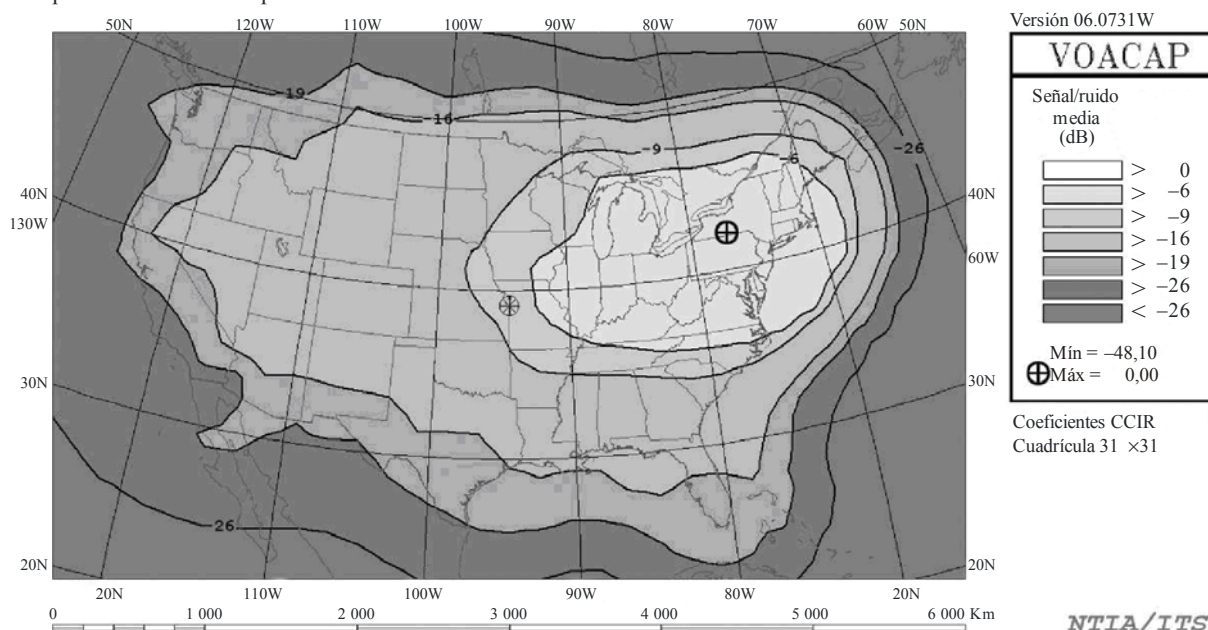
FIGURA A2-33

Combinación, en condiciones de baja actividad solar, debida a 3 537 855 dispositivos aéreos sin dispositivos subterráneos, con un incremento máximo del ruido de fondo de 3 dB

15ut 6.000 MHz Dec 25ssn aéreos: 3,537,855 subterráneos: 0

Ubicación de transmisor
para cuadrícula de receptores

SNR
AREADATA \ AGGS\AGGOUT_6.V11



I. 2158-A2-33

Los ejemplos de combinación de las Figs. A2-21 a A2-32 presentan los dos casos (con actividad solar baja y alta) en que se necesitan menos dispositivos para alcanzar los umbrales indicados en cualquier punto geográfico y sean cuales sean las condiciones de hora y frecuencia. Como puede verse en las figuras, en estas condiciones de mejor propagación/ruido más bajo y empleando las hipótesis desarrolladas en este estudio, bastarían algo más de 916 000 dispositivos PLT aéreos en todo el país para producir un incremento del ruido de fondo de 1 dB en cualquier punto geográfico – muy por encima de los 705 000 dispositivos PLT previstos por el modelo de implantación de la NTIA para cubrir el 100 por cien de los hogares urbanos de Estados Unidos. Podrían instalarse muchos más dispositivos sin llegar a los umbrales de 1 dB o 3 dB, si gran parte de los dispositivos se implantasen en las líneas eléctricas subterráneas.

En la amplia mayoría de los casos simulados (otras horas del día, meses del año y frecuencias), se obtiene que se necesitan muchos más dispositivos, tanto subterráneos como aéreos, para producir los incrementos de ruido de fondo indicados.

A2.4.2.6 Resumen

La NTIA modelizó dos estructuras de líneas eléctricas y llevó a cabo estudios detallados de combinación utilizando el software de propagación VOAAREA para determinar la probabilidad de que las señales PLT propagadas por la ionosfera causen interferencia perjudicial a los sistemas de radiocomunicaciones del Gobierno de Estados Unidos en la gama de frecuencias 1,7 a 30 MHz.

Los resultados de la simulación realizada por Estados Unidos acerca de la instalación de PLT de acceso en líneas eléctricas aéreas de media tensión en la banda 1,7 a 30 MHz muestran que, en el caso de la instalación a gran escala de dispositivos PLT aéreos (de manera que la PLT cubra el 100 por cien de los hogares urbanos de Estados Unidos) y con las hipótesis adoptadas en este estudio, se prevé que el ruido de fondo se incremente en menos de 1 dB en las peores condiciones

de propagación. En realidad, cerca del 20% de las líneas eléctricas de media tensión están enterradas y muchos sistemas PLT funcionan en la banda de ondas métricas. De acuerdo con los resultados obtenidos, no parece que la implantación masiva de sistemas PLT de acceso en Estados Unidos vaya a plantear un problema para los sistemas de radiocomunicaciones del Gobierno de ese país (sistemas móviles terrestres y fijos representados por dipolos de cuarto de onda) operativos en la banda 1,7 a 30 MHz a causa de la propagación ionosférica y la combinación de las señales.

A2.4.3 Resultado del cálculo de la interferencia de onda ionosférica decamétrica acumulada causada por las telecomunicaciones por líneas eléctricas

A2.4.3.1 Introducción

En esta sección se presentan ejemplos de cálculo de la intensidad de campo eléctrica acumulada causada por los sistemas PLT a causa de la propagación de onda ionosférica, como se describe en la Recomendación UIT-R P.533 – Método para la predicción de la propagación de las ondas decamétricas.

En este cálculo se adoptaron los siguientes supuestos:

- El territorio de Japón está dividido en nueve zonas y cada una de ellas tiene una fuente de radiación imaginaria cuya potencia es proporcional a la suma del número de sistemas PLT supuestos.
- Se utiliza un total de $1,5 \times 10^7$ sistemas PLT, lo que corresponde a la cobertura del 30% de los hogares.
- Se supone que el ciclo de funcionamiento es del 100% (todos los sistemas PLT están activados y en funcionamiento, pero sólo hay un módem PLT emitiendo potencia a la vez).

A2.4.3.2 Cálculo del campo de la onda ionosférica PLT acumulada

Procedimiento de cálculo

1 Potencia radiada por un único sistema PLT

La potencia de radiación se estima de la siguiente manera:

- para un módem PLT, la potencia radiada a partir de las líneas eléctricas se calcula a partir de una potencia de -60 dBm/Hz (valor rms) y la pérdida de conversión longitudinal (LCL, *longitudinal conversion loss*) de las líneas eléctricas es 30 dB;
- además, habida cuenta de la anchura de banda del sistema receptor interferido, la potencia de radiación de un único sistema PLT se evalúa para las bandas del servicio de radiocomunicaciones como se muestra en el Cuadro A2-5;
- por consiguiente, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{potencia radiada (dBW)} = \text{potencia de la señal (dBm/Hz)} - 30 + 10 \log (\text{anchura de banda (Hz)}) - LCL \text{ (dB)}; \text{ y}$$
- se supone que los puntos receptores están suficientemente alejados de los sistemas PLT, por lo que la fuente de radiación puede considerarse una fuente puntual.

CUADRO A2-5

Potencia de radiación de un único sistema PLT

	Banda de frecuencias	Potencia radiada
Radioastronomía	Banda de 13 MHz (frecuencia central: 13,385 MHz)	–73,0 dBW (valor rms, anchura de banda 50 kHz)
	Banda de 25 MHz (frecuencia central: 25,610 MHz)	–69,2 dBW (valor rms, anchura de banda 120 kHz)
Aficionados	Banda de 3,5 MHz (frecuencia de cálculo: 3,538 MHz)	–86,2 dBW (valor rms, anchura de banda 2,4 kHz)
	Banda de 7 MHz (frecuencia de cálculo: 7,050 MHz)	–86,2 dBW (valor rms, anchura de banda 2,4 kHz)

2 *Acumulación de sistemas PLT distribuidos*

Para el cálculo, el territorio de Japón se dividió en nueve (9) zonas, como se muestra en el Cuadro A2-6, y en cada una de ellas hay una fuente de radiación imaginaria cuya potencia se estima con la siguiente fórmula:

Potencia de radiación de la fuente imaginaria en una zona (dBW) = Potencia radiada por un único sistema PLT (dBW) + 10 log (número de sistemas PLT) – Apantallamiento (dB)

donde:

Número de sistemas PLT = Número de hogares en la zona * Tasa de penetración PLT

siendo los parámetros:

Número de hogares, de acuerdo con los datos del gobierno (para marzo de 2004), en la zona:

Tasa de penetración PLT: estimada a partir de la tasa de penetración del servicio de banda ancha en las prefecturas y ciudades (datos de marzo de 2005) y una cobertura nacional media del 30%

Apantallamiento: se supone que es de 0 dB (inocuo).

Para el análisis del caso más desfavorable se asumió que el ciclo de funcionamiento de todos los módem PLT era del 100%, es decir, que todos los módems estaban activos y en funcionamiento.

3 *Cálculo de la distribución de la intensidad de campo acumulada por la propagación ionosférica de las ondas decamétricas*

La distribución de la intensidad de campo eléctrica (valor medio) por la propagación ionosférica de las ondas decamétricas radiadas por un total de $1,5 \times 10^7$ sistemas PLT se calculó así:

- para cada zona se calculó la distribución de la intensidad de campo eléctrica procedente de una fuente de radiación imaginaria de acuerdo con la propagación ionosférica de las ondas decamétricas;
- los nueve resultados obtenidos se sumaron en términos de potencia.

Cálculo real utilizando el modelo de propagación de la Recomendación UIT-R P.533

El cálculo de la distribución de la intensidad de campo se realizó utilizando el software público gratuito RECAREA⁵⁰, publicado por la Comisión de Estudio 3, con los siguientes parámetros:

a) *Potencia radiada*

Por limitaciones del software, los cálculos se realizaron para determinados niveles de potencia radiada superiores a 0 dBW. A continuación se corrigieron los resultados en función de las potencias radiadas enumeradas en los Cuadros A2-5 y A2-6.

b) *Antena transmisora*

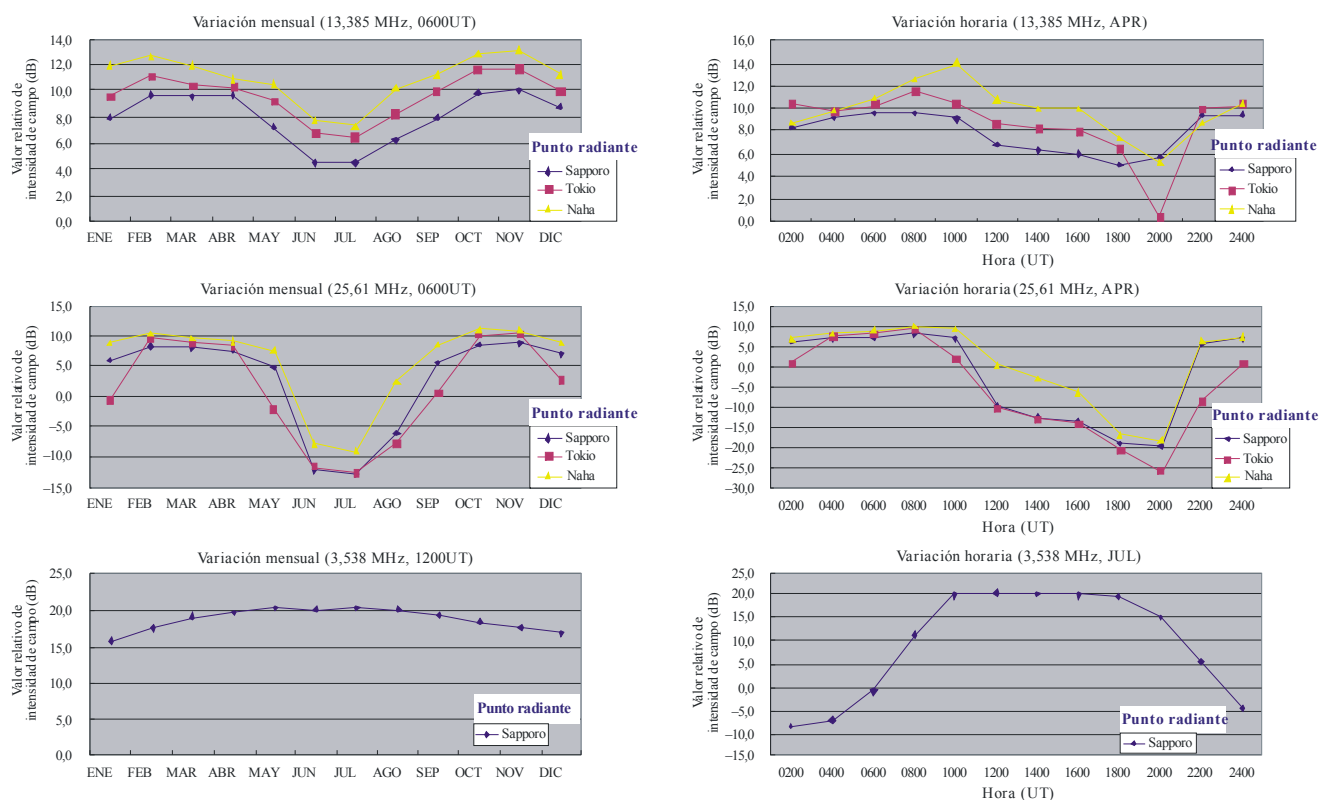
Se escogió como tipo de antena la antena isótropa.

c) *Condiciones de la ionosfera*

Diversas características de la ionosfera cambian con los meses y las horas del día. La intensidad de campo eléctrica y su distribución también cambian debido a esas variaciones. La intensidad de campo eléctrica máxima en la zona de proyección definida en f) varía en función del mes y la hora utilizados para el cálculo, como se ve en la Fig. A2-34. Para este cálculo se utilizaron los parámetros «Mes: abril; Hora: 0600UT», que corresponden aproximadamente a la intensidad de campo eléctrica máxima.

FIGURA A2-34

Ejemplo de variación de la intensidad de campo en función del mes/hora



I. 2158-A2-34

⁵⁰ Este software puede descargarse de http://elbert.its.blrdoc.gov/pc_hf/hfwin32.html.

d) *SSN (número de manchas solares)*

En la Fig. A2-35 se muestra un ejemplo de variación de la intensidad de campo eléctrica máxima con distintos SSN. Para el cálculo se definió SSN = 100 (actividad solar relativamente alta.)

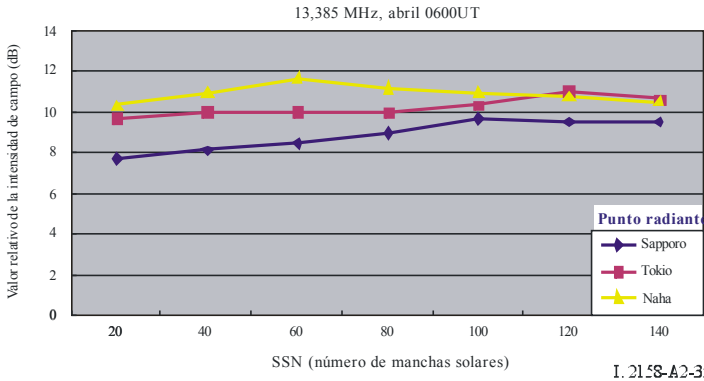
e) *Antena receptora/anchura de banda de recepción*

Este parámetro es irrelevante para el cálculo de la intensidad de campo eléctrica.

f) *Zona de proyección*

El punto de referencia de la proyección se fijó en Tokio y la zona de proyección abarca una zona entorno a Japón: 700 km hacia el Este, 1 300 km hacia el Oeste, 1 200 km hacia el Norte y 1 000 km hacia el Sur desde el punto de referencia.

FIGURA A2-35
Ejemplo de variación de la intensidad de campo en función del SSN



CUADRO A2-6

Potencia de radiación de las fuentes de radiación imaginarias

	Zona	Ubicación de la fuente imaginaria	Número de hogares (x 10 ⁴)	Penetración de PLT	Número de sistemas PLT (x 10 ⁴)	Potencia de radiación de la fuente imaginaria (dBW)
1	Hokkaido	Sapporo (43,06N, 141,33E)	252	20%	50,4	Banda de 13 MHz: -16,0 Banda de 25 MHz: -12,2 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -29,2
2	Touhoku	Sendai (38,26N, 140,90E)	341	25%	85,3	Banda de 13 MHz: -13,7 Banda de 25 MHz: -9,9 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -26,9
3	Kanto	Tokio (35,67N, 139,77E)	1,717	35%	600,9	Banda de 13 MHz: -5,2 Banda de 25 MHz: -1,4 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -8,4
4	Shinetsu, Hokuriku	Kanazawa (36,59N, 136,63E)	263	25%	65,8	Banda de 13 MHz: -14,8 Banda de 25 MHz: -11,0 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -28,0
5	Toukai	Nagoya (35,17N, 136,97E)	536	35%	187,5	Banda de 13 MHz: -10,3 Banda de 25 MHz: -6,5 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -23,5

CUADRO A2-6 (*Fin*)

	Zona	Ubicación de la fuente imaginaria	Número de hogares ($\times 10^4$)	Penetración de PLT	Número de sistemas PLT ($\times 10^4$)	Potencia de radiación de la fuente imaginaria (dBW)
6	Kinki	Osaka (34,68N, 135,52E)	829	30%	248,7	Banda de 13 MHz: -9,0 Banda de 25 MHz: -5,2 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -22,2
7	Chugoku, Shikoku	Hiroshima (34,40N, 132,46E)	464	25%	116,0	Banda de 13 MHz: -12,4 Banda de 25 MHz: -8,6 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -25,6
8	Kyushu	Fukuoka (33,58N, 130,38E)	531	25%	132,9	Banda de 13 MHz: -11,8 Banda de 25 MHz: -8,0 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -25,0
9	Okinawa	Naha (26,21N, 127,69E)	50	20%	10,0	Banda de 13 MHz: -23,0 Banda de 25 MHz: -19,2 Banda de 3,5 MHz/7 MHz: -36,2

A2.4.3.3 Resultados del cálculo

En la Fig. A2-36 se muestran los resultados del cálculo de la radiación de un único sistema PLT. La intensidad de campo eléctrica producida por la propagación ionosférica puede tener su valor máximo lejos del punto de radiación, y este valor máximo varía en función del mes, la hora, la frecuencia, etc.

Sin embargo, el valor absoluto de la intensidad de campo eléctrica de un único sistema PLT es extremadamente bajo. Además, al aumentar la distancia desde el punto de radiación, se reduce la intensidad de campo eléctrica interferente, como se muestra en la Fig. A2-37.

En las Figs. A2-38 y A2-39 se presentan los resultados del cálculo de la distribución de la intensidad de campo eléctrica acumulada (valor medio) de un total de $1,5 \times 10^7$ PLT sistemas en Japón.

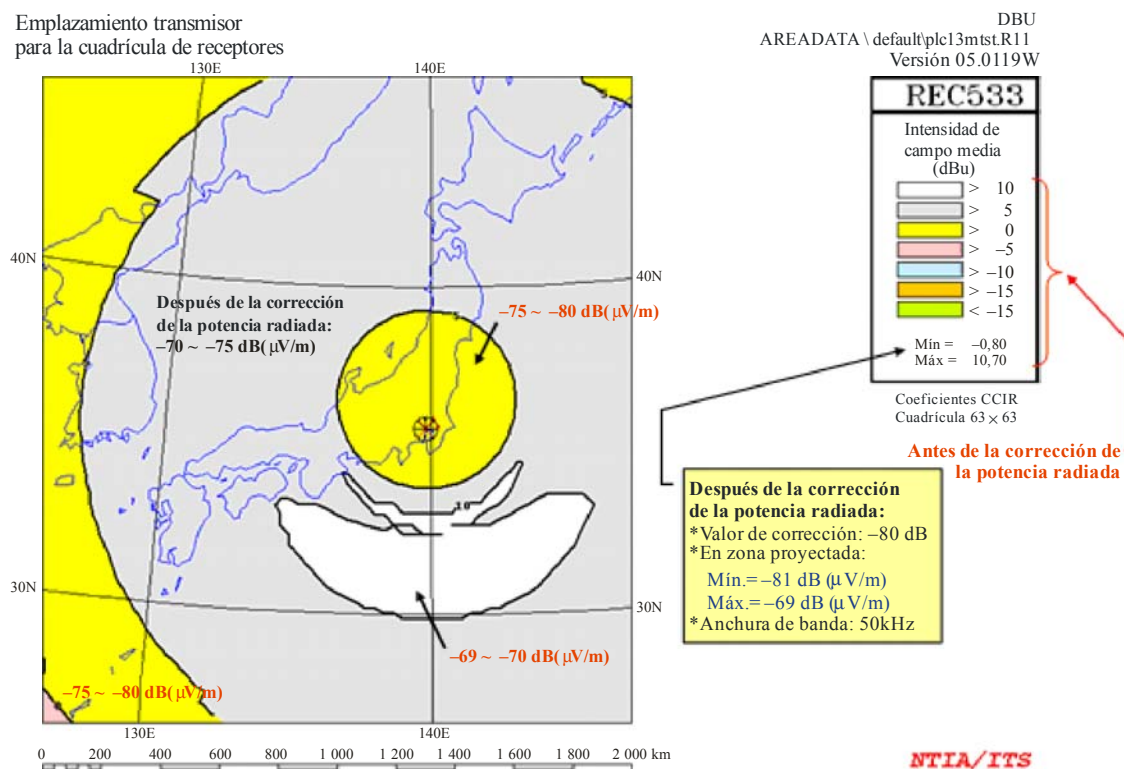
De acuerdo con los resultados de los cálculos, al igual que ocurre con un único sistema PLT, la intensidad de campo eléctrica causada por la onda ionosférica puede tener su valor máximo lejos del punto de radiación. Sin embargo, la intensidad de campo eléctrica acumulada generada por todos los sistemas PLT es baja e inferior al nivel de ruido en una zona rural.

FIGURA A2-36

Ejemplo de distribución de la intensidad de campo ionosférica de ondas decamétricas causada por un único sistema PLT

TOKIO, Japón (ISÓTROP) 5W -1° 06ut 06ut 13,385 MHz APR 100ssn

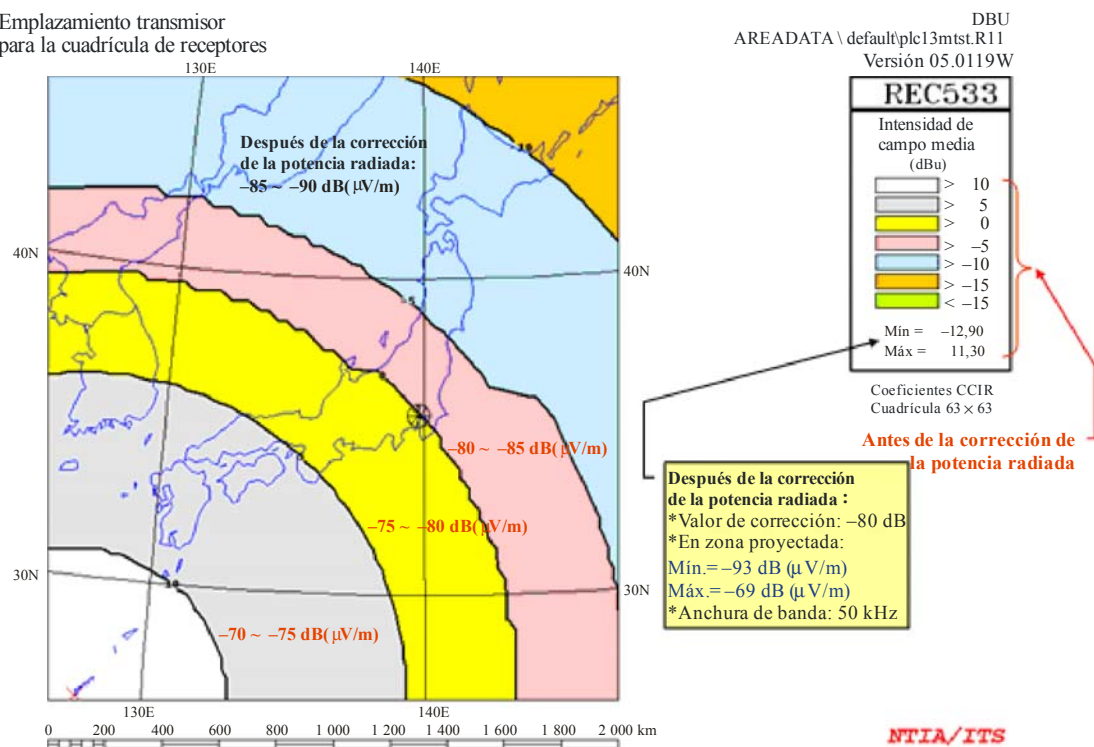
Emplazamiento transmisor
para la cuadrícula de receptores



a) Banda de 13 MHz, punto radiante: Tokio

NAHA, Japón (ISOTROPE) 5W -1° 06ut 06ut 13,385 MHz APR 100ssn

Emplazamiento transmisor
para la cuadrícula de receptores



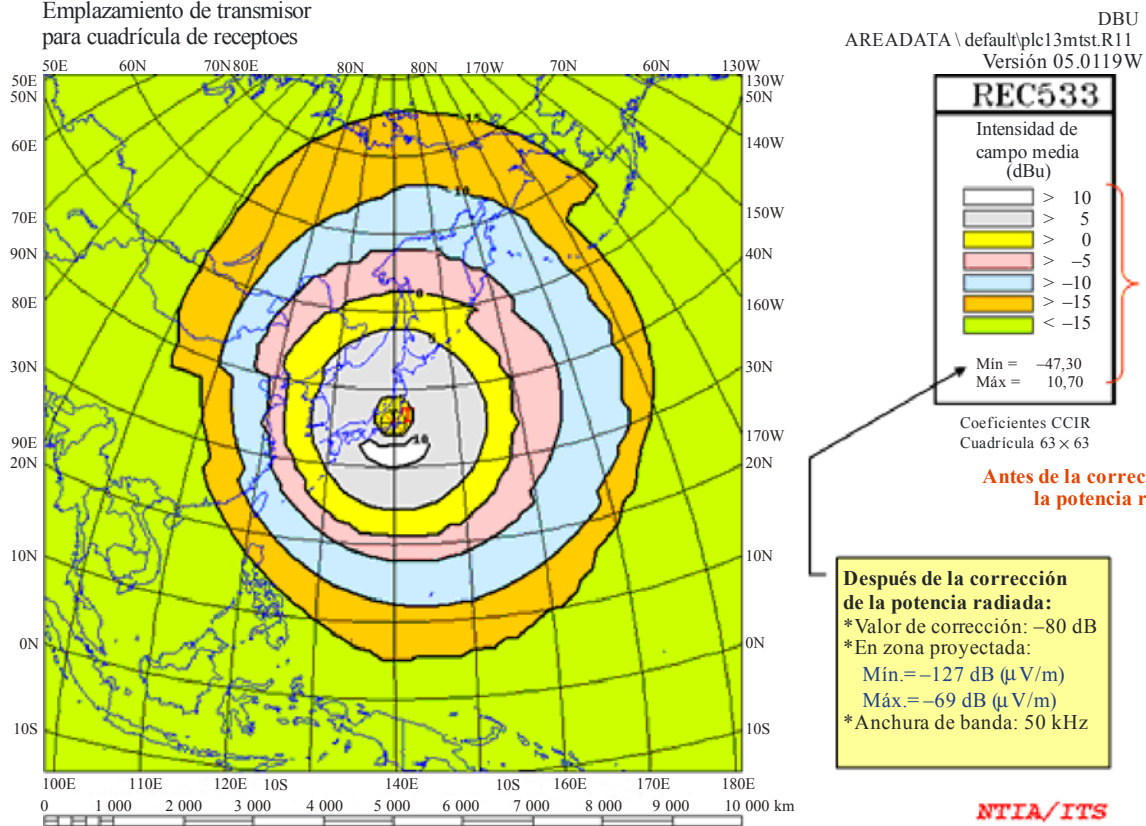
b) Banda de 13 MHz, punto radiante: Naha

FIGURA A2-37

**Ejemplo de distribución de intensidad de campo ionosférica
de ondas decamétricas causada por un único sistema PLT
(banda de 13 MHz, punto radiante: Tokio)**

TOKYO, Japón (ISOTROPA) 5W -1° 06ut 06ut 13,385 MHz APR 100ssn

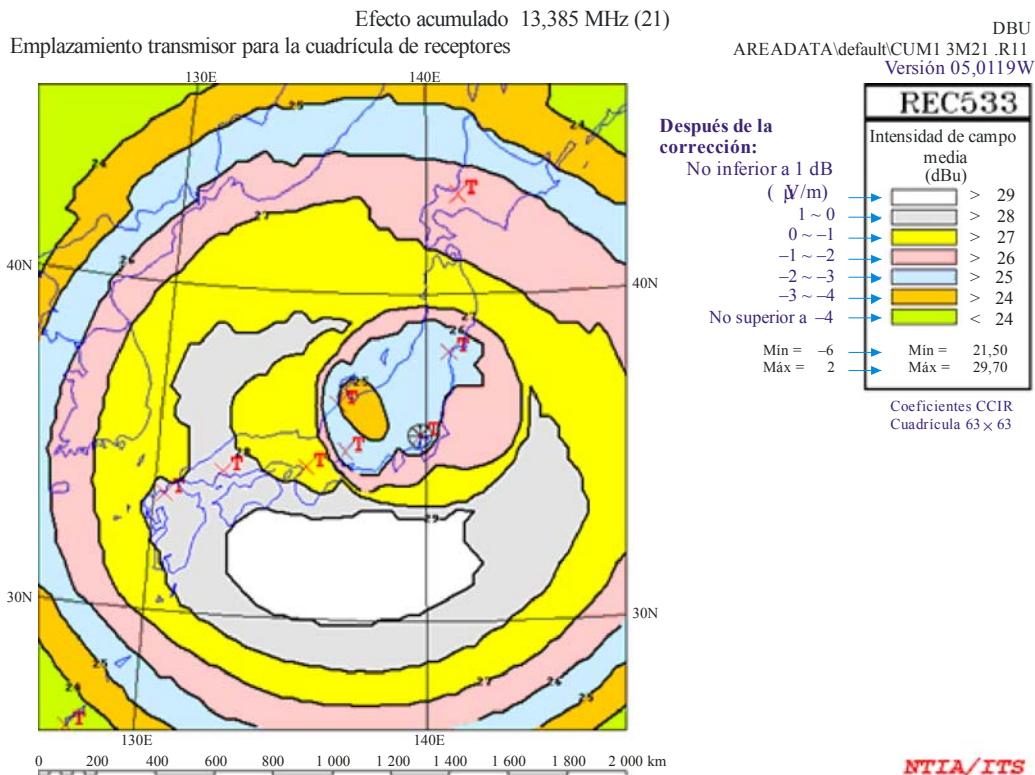
Emplazamiento de transmisor
para cuadrícula de receptores



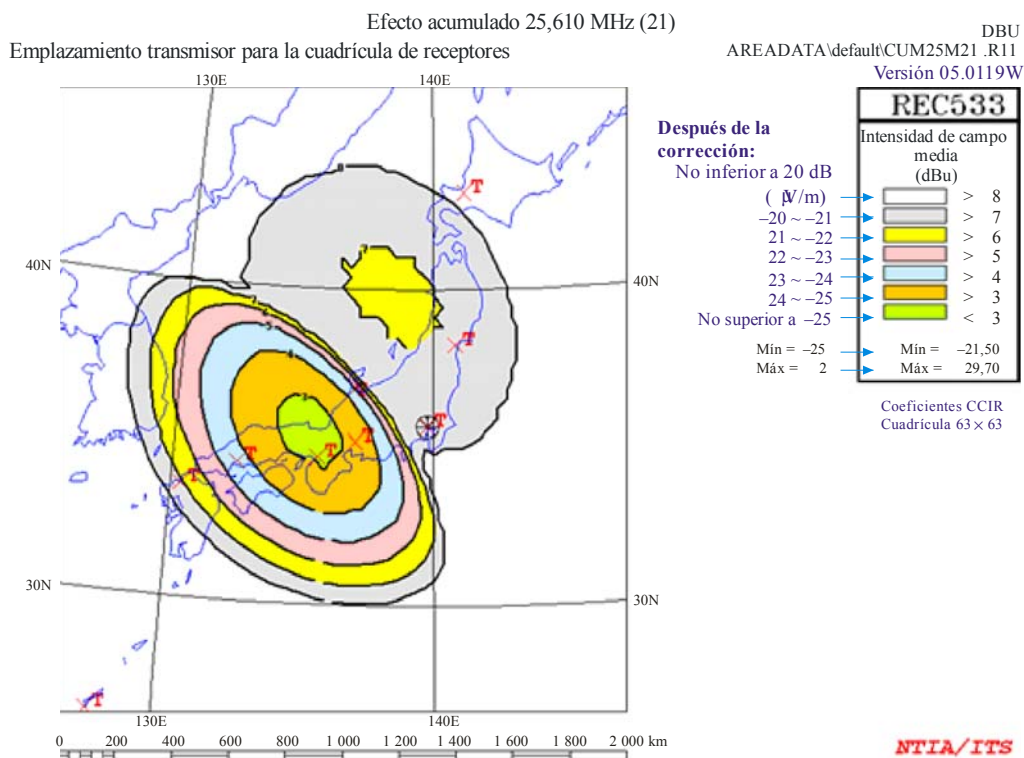
I. 2158-A2-37

FIGURA 2A-38

**Ejemplo de distribución de intensidad de campo acumulada de las ondas ionosféricas
decamétricas radiadas por todos los sistemas PLT
(banda de 13 MHz y banda de 25 MHz)**



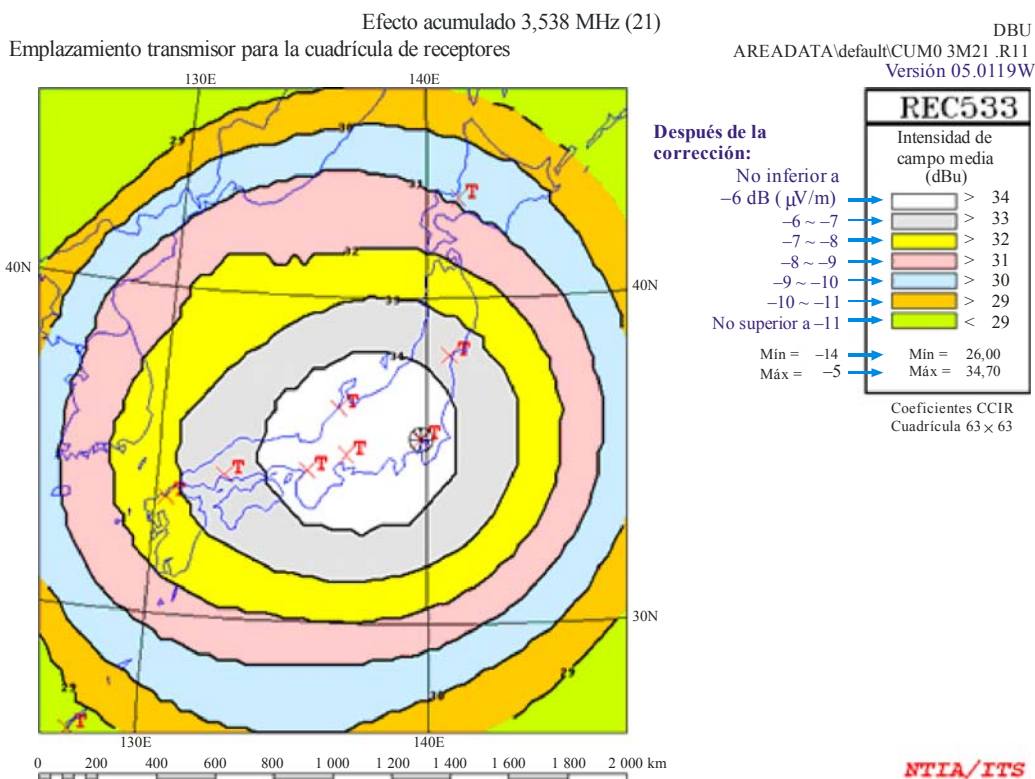
a) Onda ionosférica en la banda de 13 MHz, anchura de banda 50 kHz



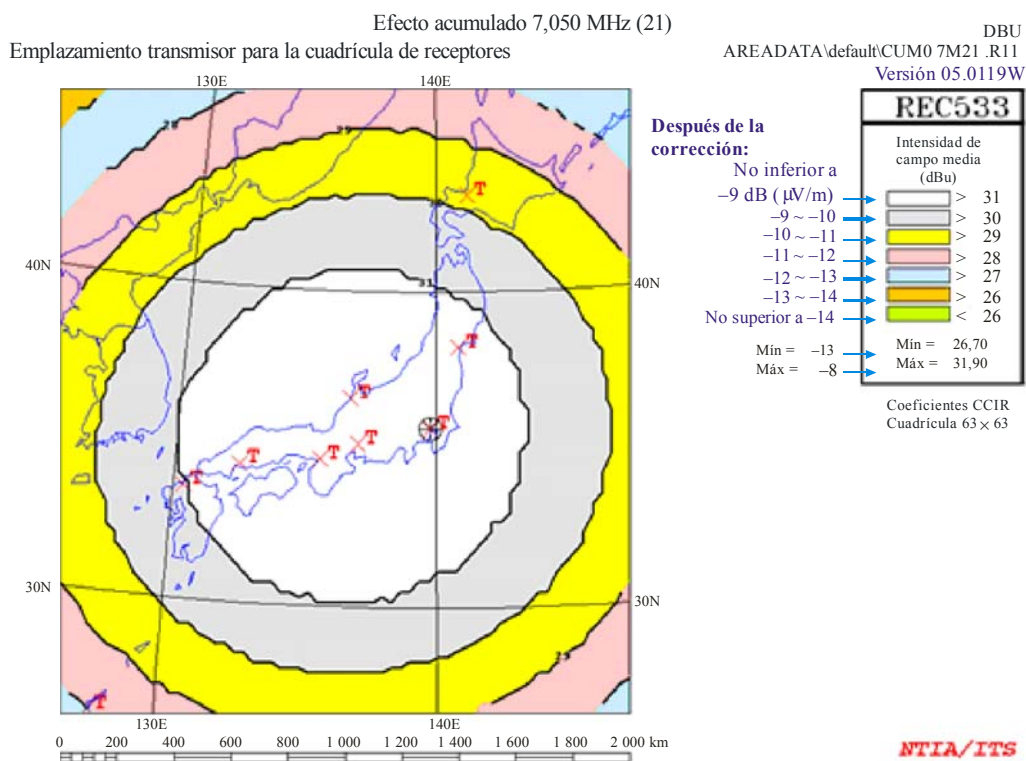
b) Onda ionosférica en la banda de: 25 MHz, anchura de banda: 120 kHz

FIGURA 2A-39

Ejemplo de distribución de intensidad de campo acumulada de las ondas ionosféricas decamétricas radiadas por todos los sistemas PLT (banda de 3,5 MHz y banda de 7 MHz)



a) Onda ionosférica en la banda: 3 MHz, anchura de banda: 2,4 kHz



a) Onda ionosférica en la banda: 3 MHz, anchura de banda: 2,4 kHz

I. 2158-A2-39

A2.4.4 Resultados del estudio de compatibilidad entre las observaciones del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas y la interferencia ionosférica de ondas decamétricas acumulada causada por los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticos

A2.4.4.1 Introducción

El servicio de radioastronomía tiene atribuciones de frecuencias en la banda de ondas decamétricas a título primario: 13,36-13,41 MHz y 25,55-25,67 MHz. Los niveles umbral de interferencia perjudicial a las observaciones del servicio de radioastronomía en estas bandas, expresada en términos de intensidad de campo eléctrica, como se muestra en el Informe UIT-R RA.2131, son $-55,2$ dB(μ V/m) para la banda de 13 MHz y $-53,2$ dB(μ V/m) para la banda de 25 MHz.

A2.4.4.2 Resultados del cálculo

En la Fig. A2-38 se muestran los resultados del cálculo de la radiación de un único sistema PLT. La intensidad de campo eléctrica causada por la propagación ionosférica puede tener su valor máximo lejos del punto radiante, y este valor varía en función del mes, la hora, la frecuencia, etc. En la Fig. 2A-39 se muestran los resultados del cálculo de la distribución de la intensidad de campo eléctrica acumulada (valor medio) de un total de $1,5 \times 10^7$ sistemas PLT. De acuerdo con estos resultados, al igual que ocurre en el caso de un único sistema PLT, la intensidad de campo eléctrica de las ondas ionosféricas puede tener su valor máximo lejos del punto de radiación.

En la Fig. 2A-39, las intensidades de campo eléctricas máximas son de 2 dB(μ V/m) en la banda de 13 MHz y de -2 dB(μ V/m) en la banda de 25 MHz, valores muy superiores a los umbrales de interferencia perjudicial causada a las observaciones del servicio de radioastronomía en estas bandas, $-55,2$ dB(μ V/m) para la banda 13 MHz y $-53,2$ dB(μ V/m) para la banda de 25 MHz. Las diferencias rondan los 57 dB en la banda de 13 MHz y los 51 dB en la banda de 25 MHz. Dado que las intensidades de campo calculadas son aproximadamente proporcionales a la potencia radiada total, estas diferencias pueden resolverse reduciendo el número de sistemas PLT de $1,5 \times 10^7$ a 30. Sin embargo, esta hipótesis no es realista.

A2.4.4.3 Posibles medidas de reducción de la interferencia para la protección del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas

Se ha visto que la compartición de frecuencias entre las observaciones del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas y un gran número de sistemas PLT no es factible. Entre las posibles medidas de reducción de la interferencia destinadas a evitar la interferencia perjudicial en las observaciones del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas se cuentan:

- la implantación de filtros de ranura fijos en las bandas del servicio de radioastronomía, es decir, que el sistema PLT no podrá utilizar las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas; o
- la reducción de la potencia de radiación de un único sistema PLT en más de 50 dB.

Dado que las observaciones del servicio de radioastronomía son bastante sensibles y no pueden evitar la radiación causada por los sistemas PLT, se habrá de reducir de manera permanente la densidad espectral de potencia de los dispositivos PLT (es decir, ranurado permanente) en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radioastronomía.

A2.5 Resultados experimentales de la prueba de evaluación subjetiva de la recepción de radiodifusión analógica en ondas decamétricas con interferencia de PLT

En esta sección se da cuenta de la prueba de evaluación subjetiva de la interferencia causada por la PLT en la recepción de radiodifusión en ondas decamétricas realizada en Japón. Esta prueba se realiza en dos fases: adquisición de muestras de sonido de radiodifusión en ondas decamétricas con interferencia de PLT y prueba de evaluación subjetiva utilizando esas muestras. A fin de adquirir las muestras de sonido, se generó una señal de ondas decamétricas modulada por señales de sonido (modulación 30%) a 6,055 MHz en una habitación blindada (célula GTEM). Dentro de la célula GTEM aislada se generaron la señal de radiodifusión en ondas decamétricas, el ruido PLT y el ruido Gaussiano.

Se utilizaron dos tipos de módem PLT con distintas modulaciones: espectro ensanchado (SS) y OFDM.

Con respecto a la frecuencia de prueba, se seleccionó la banda de frecuencias central de las tres bandas de frecuencias utilizadas por Nikkei Radio Broadcasting Co.

La prueba de evaluación subjetiva se realizó siguiendo el método DSIS (escala doble estímulo-degradación) descrito en la Recomendación UIT-R BS.1284.

Las pruebas se realizaron en las siguientes fechas y lugares:

- 29 de agosto de 2005 (adquisición de muestras de sonido): NICT
- 15 de septiembre de 2005 (prueba de evaluación subjetiva): NHK STRL

A2.5.1 Métodos de prueba

A2.5.1.1 Adquisición de las muestras de sonido

En la Fig. A2-40 y el Cuadro A2-7 se muestran la configuración y las condiciones de la prueba, respectivamente.

Las siguientes tres señales se combinaron e inyectaron en la célula TEM.

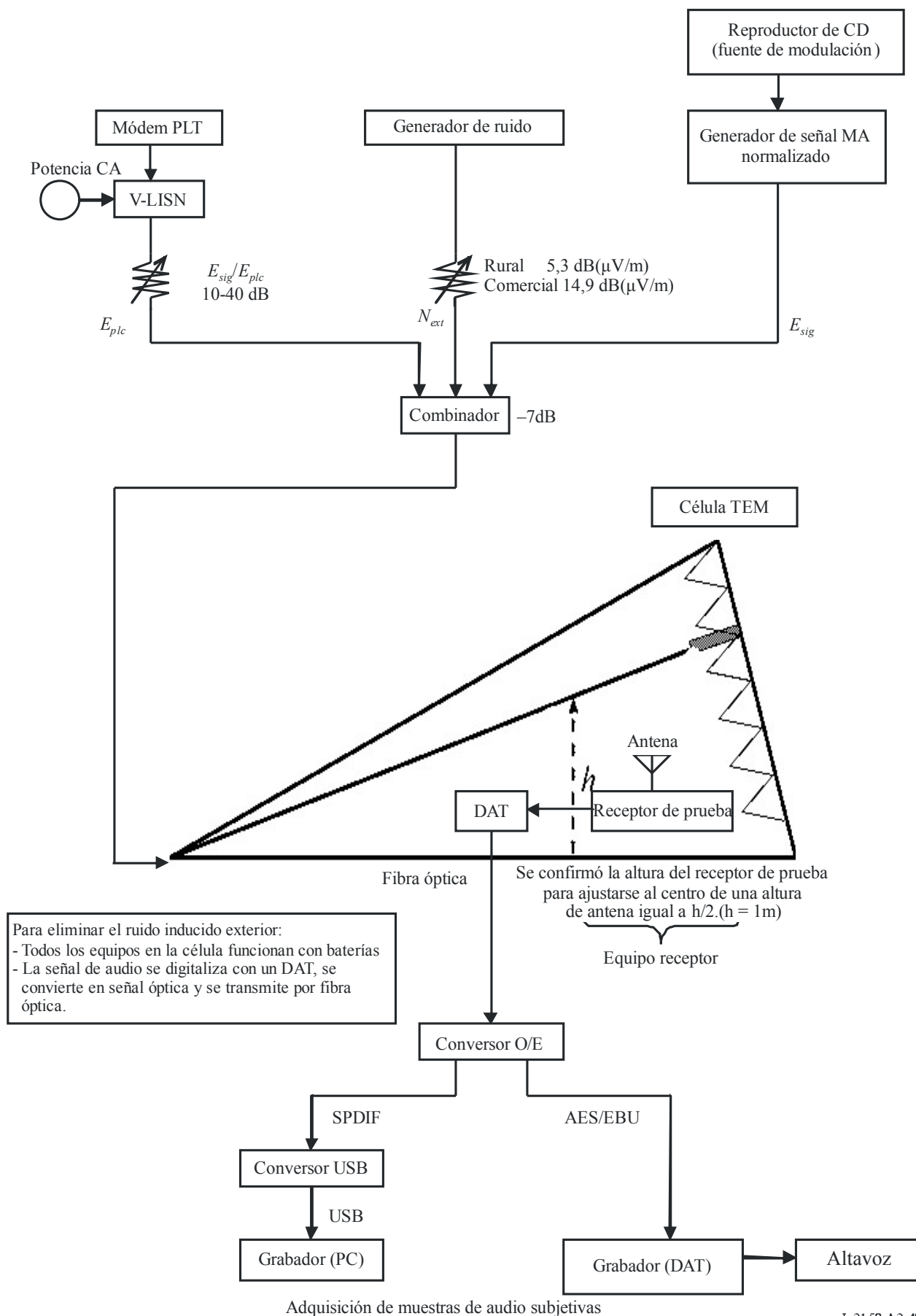
- señal de módem PLT a través de una red de estabilización de impedancia de línea V (V-LISN, *V-Line Impedance Stabilization Network*);
- salida de generador de ruido para simular el ruido artificial;
- salida de generador de señal MA normalizada para simular la señal de radiodifusión en ondas decamétricas (modulación 30%).

La intensidad de campo del ruido artificial (N_{ext}) se fijó al valor asumido para el ruido ambiente, y la intensidad de campo de la señal de radiodifusión en ondas decamétricas (E_{sig}) se fijó al valor mínimo requerido. (Véase el Cuadro A2-7.) Las muestras se obtuvieron variando la intensidad de campo de la señal PLT (E_{plc}).

Las señales de audio salientes de un puerto de casco se grabaron como muestras de sonido para la prueba.

FIGURA A2-40

Condiciones de la prueba de muestras de audio



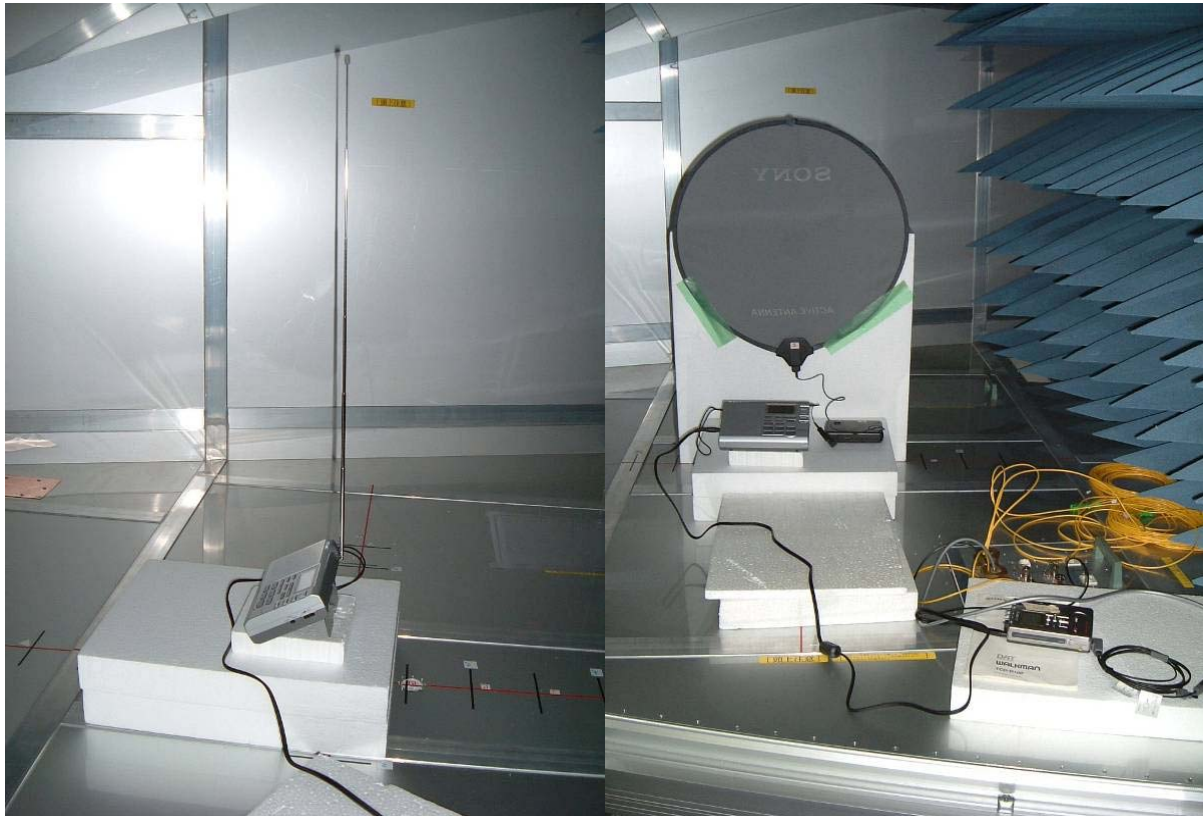
CUADRO A2-7

Condiciones del receptor de radiodifusión en ondas decamétricas

Receptor	Antena	Intensidad de campo de la señal de radiodifusión en ondas decamétricas (E_{sig}) ^{(1), (4)}	Intensidad de campo del ruido artificial (N_{ext}) ^{(2), (4)}	Intensidad de campo de la señal de módem PLT (E_{plc}) ^{(3), (4)}
Receptor de mesa ⁽⁵⁾	Antena metálica	40 dB(μ V/m)	5,3 dB(μ V/m) (rural)	Relación E_{sig}/E_{plc} entre 10 dB y 40 dB a intervalos de 2 dB (véase el Cuadro A2-6)
			14,9 dB(μ V/m) (comercial)	
Receptor de mesa ⁽⁵⁾	Antena de bucle ⁽⁶⁾	30 dB(μ V/m)	5,3 dB(μ V/m) (rural)	
			14,9 dB(μ V/m) (comercial)	

- ⁽¹⁾ La intensidad de campo de la señal de radiodifusión en ondas decamétricas corresponde a la intensidad de campo mínima requerida para una señal de radiodifusión en ondas decamétricas: 40 dB(μ V/m) a nivel internacional (CAMR HFBC(2), Ginebra, 1987), 30 dB(μ V/m) para Japón. La intensidad de campo se mide en la señal de portadora no modulada.
- ⁽²⁾ La intensidad de campo del ruido artificial es de 5,3 dB(μ V/m) (BW = 9 kHz) en un entorno rural o de 14,9 dB(μ V/m) (BW = 9 kHz) en un entorno comercial, de acuerdo con la Recomendación UIT-R P.372-8.
- ⁽³⁾ La intensidad de campo de la señal de módem PLT se mide en una anchura de banda de 9 kHz, que es la anchura de banda mínima requerida para la radiodifusión en ondas decamétricas. En el experimento se utilizaron dos tipos de módem PLT: sistemas OFDM y SS.
- ⁽⁴⁾ El ruido Gaussiano (de fondo) y el ruido PLT se superpusieron a la señal de ondas decamétricas en la célula GTEM.
- ⁽⁵⁾ Un receptor de ondas decamétricas Sony instalado dentro de la célula recibió las señales de ondas decamétricas interferidas por los ruidos y reprodujo las señales de sonidos para la evaluación. El ruido intrínseco del receptor era tan bajo que se logró una relación señal/ruido (S/N) mejor que 26 dB para una intensidad de campo de señal de 40 dB(μ V/m).
- ⁽⁶⁾ En el caso de la intensidad de campo igual a 30 dB(μ V/m), se utilizó un AN-LP1 de Sony Co.

FIGURA A2-41

Receptor en la célula GTEM

I. 2158-A2-41

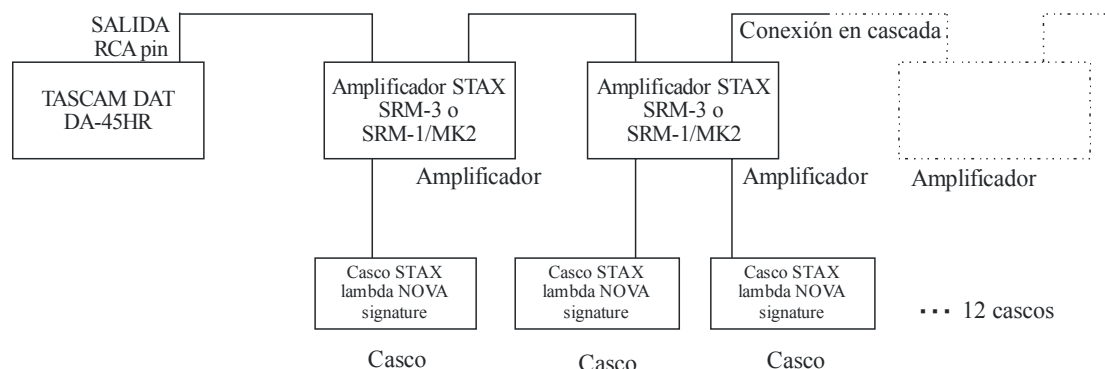
A2.5.1.2 Prueba de evaluación subjetiva

En la Fig. A2-42 y el Cuadro A2-8 se muestran la configuración y las condiciones de la prueba, respectivamente.

La prueba de evaluación subjetiva se realizó de manera conforme con la Recomendación UIT-R BS.1284. Veinticuatro auditores no expertos participaron en las pruebas tras una breve formación. La calidad de las muestras de audio se evaluó utilizando el método de escala doble estímulo-degradación (DSIS), que clasifica la degradación en cinco grados:

- 5: Imperceptible.
- 4: Perceptible, pero no molesta.
- 3: Ligeramente molesta.
- 2: Molesta.
- 1: Muy molesta, cuando la calidad de la señal de audio con ruido de fondo Gaussiano y ruido PLT se comparó con la señal de audio sólo con ruido de fondo (referencia).

FIGURA A2-42

Configuración de la prueba de evaluación subjetiva

I. 2158-A2-42

CUADRO A2-8

Condiciones de la prueba de evaluación subjetiva

Método	Escala doble estímulo-degradación (DSIS) Sonido de criterio (11 s)-Sonido de evaluación (11 s)
Sonido de referencia	Señal de radiodifusión en ondas decamétricas recibida con ruido artificial solamente como se indica en el Cuadro A2-5
Sonido de evaluación	Señal de radiodifusión en ondas decamétricas recibida con ruido artificial y señal de módem PLT, como se indica en el Cuadro A2-5
Escala de graduación	Escala de degradación de cinco grados 5: Imperceptible 4: Perceptible, pero no molesta 3: Ligeramente molesta 2: Molesta 1: Muy molesta
Contenido de audio	P1: Voz (femenina) P2: Música (voz masculina y acompañamiento musical)
Profundidad de modulación media	30% (equivalente a UIT-R BS.703)
Ruido artificial	Por generador de ruido
Módem PLT	SS y OFDM
Intensidad de campo de la señal de módem PLT	La relación E_{sig}/E_{plc} osciló entre 10 dB y 40 dB a intervalos de 2 dB para cubrir todos los grados de la escala entre 1 y 5
Evaluable	24 auditores no expertos
Método de escucha	Casco abierto

A2.5.2 Resultados de la prueba

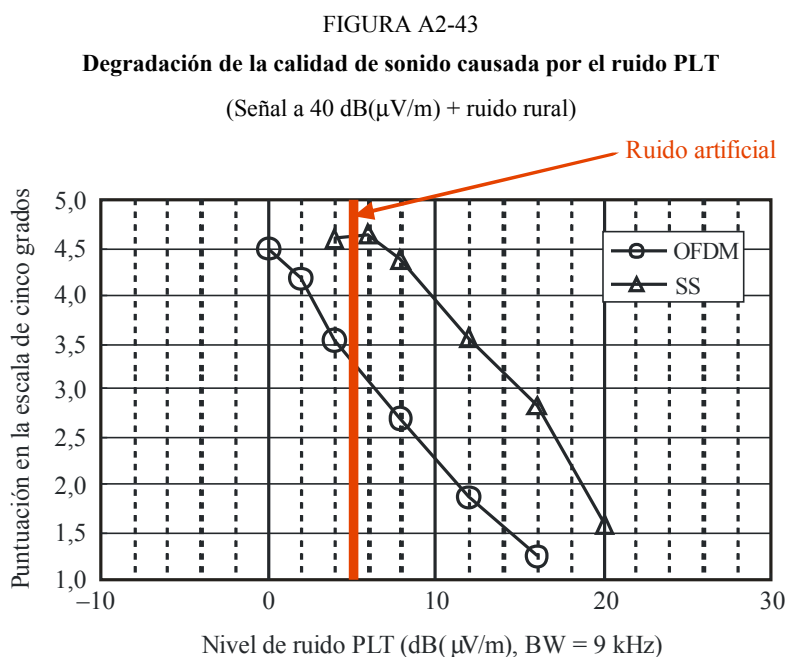
En las Figs. A2-43 a A2-46 se muestran los resultados de la prueba de evaluación subjetiva de la señal de radiodifusión en ondas decamétricas con intensidades de campo de 30 dB(μ V/m) y 40 dB(μ V/m) en entornos de ruido rural y comercial simulados. En cada gráfico se muestran los resultados de la evaluación de los dos tipos de módem PLT.

Como se describe en el Cuadro A2-8, esta prueba subjetiva utiliza la escalada doble estímulo-degradación para determinar el nivel admisible de ruido PLT comparado con el ruido artificial del medioambiente. Se presentó a los oyentes de la prueba el sonido de referencia para el grado 4,5 y la señal de radiodifusión en ondas decamétricas era interferida únicamente por el ruido medioambiental. A continuación, la señal de radiodifusión en ondas decamétricas se presentó junto al ruido ambiental y al ruido PLT. El receptor radioeléctrico utilizado en la prueba tenía una relación S/N mejor de 26 dB para una señal de radiodifusión de 40 dB μ V/m.

Por ejemplo, en la Fig. A2-43, el sonido de referencia era una señal de radiodifusión de 40 dB(μ V/m) con un ruido rural de unos 5 dB(μ V/m). Por consiguiente, la condición de escucha obtuvo una nota mejor que el grado 4 pero inferior al grado 5, con una relación portadora/ruido (C/N) de unos 35 dB.

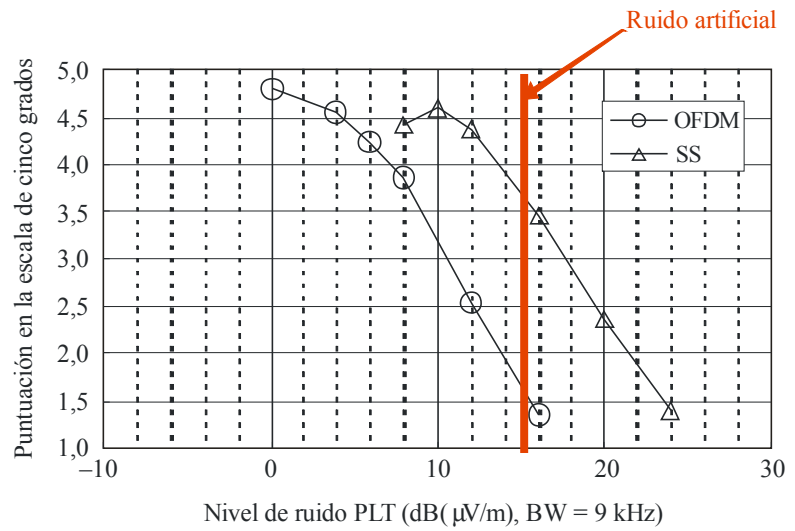
Por otro lado, en la Fig. A2-44 el nivel de ruido ambiental se aumentó hasta el nivel de ruido de zona comercial de unos 15 dB(μ V/m). En consecuencia, la condición de escucha de referencia no era buena sino ligeramente molesta con una relación C/N de 25 dB. Sin embargo, suponemos que incluso en condiciones de escucha degradadas, las personas acostumbradas a sonidos ruidosos pueden calificar la señal de radiodifusión con el grado 4,5 como muestra la Figura.

En resumen, puede deducirse de estos resultados que el ruido PLT puede degradar la calidad de audio percibida de la radiodifusión en ondas decamétricas y que el grado de degradación depende del entorno de ruido (intensidad de campo del ruido artificial), la intensidad de campo de la señal de radiodifusión, la potencia total recibida y el tipo de módem PLT.



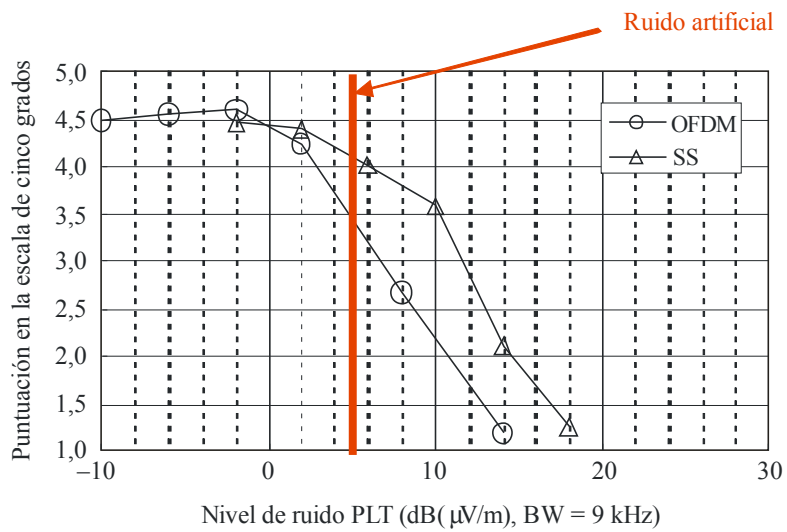
I. 2158-A2-43

FIGURA A2-44

Degradación de la calidad de sonido causada por el ruido PLT(Señal a 40 dB(μ V/m) + ruido comercial)

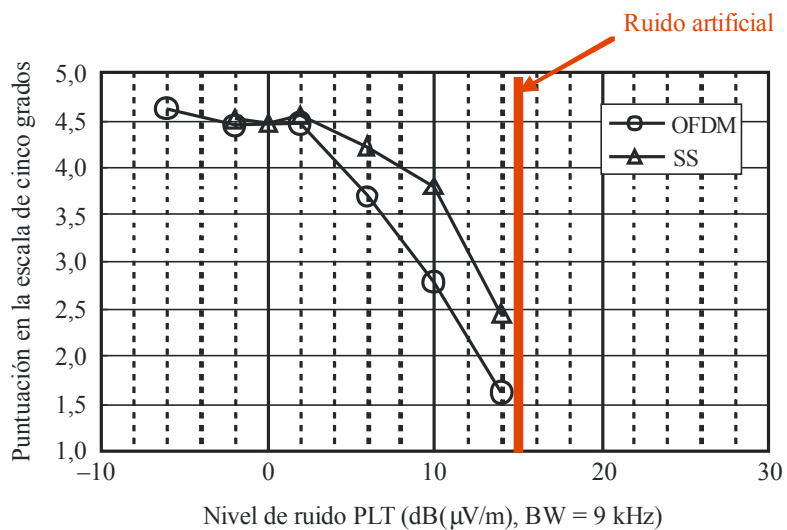
I. 2158-A2-44

FIGURA A2-45

Degradación de la calidad de sonido causada por el ruido PLT(Señal a 30 dB(μ V/m) + ruido rural)

I. 2158-A2-45

FIGURA A2-46

Degradación de la calidad de sonido causada por el ruido PLT(Señal a 30 dB(μ V/m) + ruido comercial)

I. 2158-A2-46

A2.5.3 Equipo de prueba

CUADRO A2-9

Lista de los equipos de prueba

Equipo	Especificación o Parte N.º	Cantidad
Célula TEM EGT-1100 (ELENA ELECTRONICS CO., LTD)	Gama de frecuencias: 3,9-26,1 MHz Ruido de fondo: 0 dB(μ V/m) o inferior Tamaño EUT máx: 600 mm ³ o superior	1
Módem PLT	(OFDM)	1
Módem PLT	(SS)	1
V-LISN	V-LISN	1
Atenuador ajustable	Intervalos de 2-3 dB	2
Generador de ruido	Agilent E4438C	1
Fuente de señal de modulación	Reproductor de CD	1
Generador de señal normalizada	Panasonic VP-8121B	1
Combinador de señal de envío		1
Analizador de espectro		1
Radio de ondas decamétricas	SONY ICF-SW35	1
Antena de radio de ondas decamétricas	SONY AN-LP1	1
DAT	SONY TCD-D100	1
Conversor O/E	MOTU 308	1
Conversor USB	M.Audio Audiophile USB	1
Grabador	DAT (TASCAM DA45HR) PC (IBM THINKPAD R51)	1 1

CUADRO A2-9 (*Fin*)

Equipo	Especificación o Parte N.º	Cantidad
Altavoz del monitor	FOSTEX 6301B	1
Equipo de prueba de escucha subjetiva	Reproductor, Casco (TASCAM DAHR) STAX Lambda Nova Signature STAX SRM-3, SRM-1/MK2	24
Evaluable	No experto	24
Cable, etc.		En función de las necesidades

A2.6 Análisis de compatibilidad entre los requisitos de protección de las radiocomunicaciones móviles aeronáuticas en ondas decamétricas y los dispositivos PLT domésticos

A2.6.1 Introducción

Para las comunicaciones en banda ancha a través de redes de alimentación eléctrica de corriente alterna y baja tensión e instalaciones domésticas, los sistemas PLT modernos utilizan la gama de frecuencias 1 705 kHz-30 MHz.

Dado que esas redes e instalaciones no se construyeron para transportar señales deseadas a frecuencias muy superiores a las de la electricidad (es decir 50 Hz o 60 Hz), el nivel de perturbaciones RF radiadas por estas instalaciones aumentará drásticamente con la utilización de la PLT. No cabe duda de que un incremento del ruido radioeléctrico puede dar lugar a que la interferencia causada a la recepción de radiocomunicaciones en general, en emplazamientos donde los dispositivos PLT operativos sean numerosos, sea muy superior.

El presente análisis de compatibilidad se centra en la protección de los receptores a bordo de aeronaves del servicio móvil aeronáutico.

Con estos cálculos se pretende mostrar hasta qué punto las aplicaciones PLT pueden causar interferencias a los receptores del servicio móvil aeronáutico y cuáles son las posibilidades de evitar o, al menos, reducir esta interferencia.

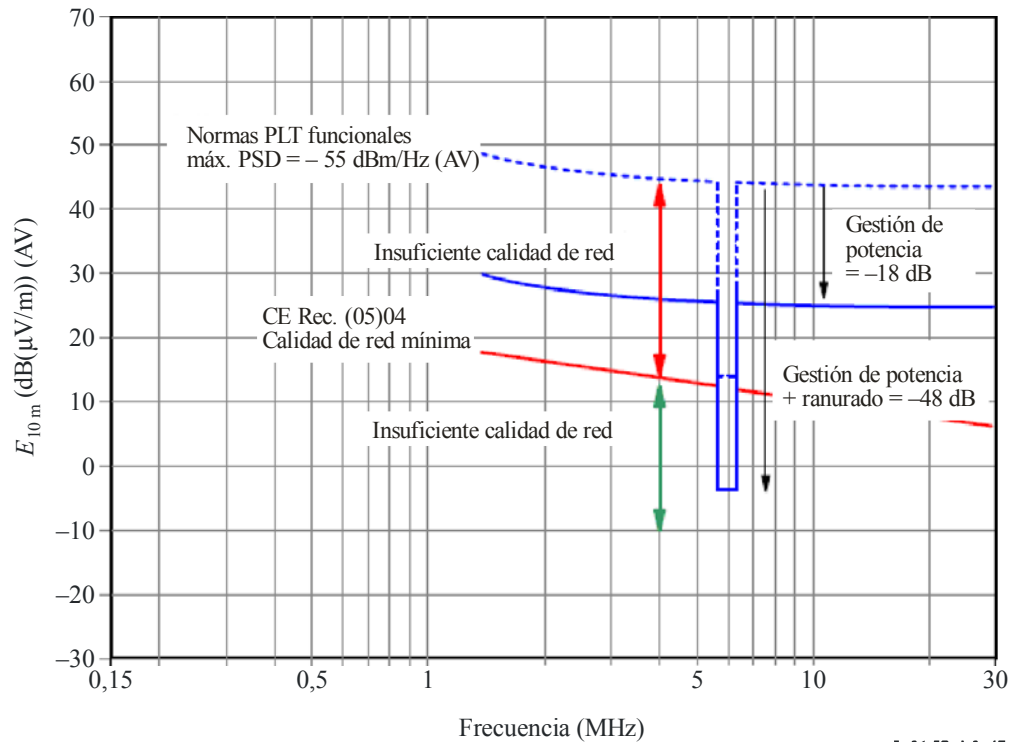
A2.6.2 Supuestos del estudio

De conformidad con las normas funcionales, los dispositivos PLT para las comunicaciones domésticas funcionan con una densidad espectral de potencia máxima de -55 dBm/Hz o -73 dBm/Hz, respectivamente. La utilización típica de frecuencias en el cable abarca hoy día la gama 1 705 kHz-30 MHz. Todos los sistemas disponibles en el mercado funcionan con transmisión multiportadora y utilizan la OFDM (multiplexación por división ortogonal de frecuencia) en combinación con la modulación CSMA/CA (prevención de la colisión/acceso múltiple en el sentido de la portadora).

Habida cuenta de las propiedades decamétricas estadísticamente demostradas de las instalaciones eléctricas domésticas de corriente alterna en Europa, se puede estimar el nivel de perturbaciones RF radiadas que emanan de los edificios donde la comunicación PLT está activa. Para evaluar la repercusión de estas perturbaciones en los receptores a bordo de aeronaves, se creó una fuente puntual utilizando un modelo del elemento finito. Las características de radiación resultantes de esta fuente se muestran en la Fig. A2-47 (curvas azules).

FIGURA A2-47

Dispositivos PLT no de acceso, verdadero componente eléctrico de las perturbaciones RF radiadas desde las instalaciones eléctricas c.a. en un edificio dotado de PLT (a 10 m de distancia de la pared exterior o el tejado del edificio), efecto de la gestión y el ranurado de potencia (a unos 6 MHz) (situación en Europa donde la Rec. (05)04 de la CE es de aplicación, pérdida de extremo a extremo del enlace de comunicaciones PLT = 20 dB)



I. 2158-A2-47

Estas características de radiación representan el caso normal de funcionamiento de los dispositivos PLT. El edificio simulado puede acomodar dos o más dispositivos PLT en comunicación y puede también tener más de un piso separado. Para facilitar la comparación, en la Fig. A2-47 se incluyen también los límites de la Recomendación (05)04 de la CE, que puede considerarse la referencia sobre calidad tolerable de las instalaciones eléctricas c.a. y radiación procedente de edificios causada por las comunicaciones inalámbricas de banda ancha en general.

La curva azul discontinua representa la intensidad de campo de las perturbaciones RF a 10 m de distancia del cable que transporta las comunicaciones PLT o, para los fines de este análisis, del edificio en el eje z. De no aplicarse medidas de reducción de la interferencia se observará una importante intensidad de campo de las perturbaciones RF en todas las frecuencias utilizadas en los cables para la PLT. La curva representa la intensidad de campo de perturbación RF causada por el funcionamiento de los dispositivos PLT con una densidad espectral de potencia de -55 dBm/Hz. En este tipo de dispositivos, algunos requisitos funcionales pueden garantizar que los dispositivos PLT están equipados con características de reducción de la interferencia, como la gestión y el ranurado de potencia. Esta prueba de compatibilidad electromagnética exige que se verifique la calidad de funcionamiento de estas características en los productos.

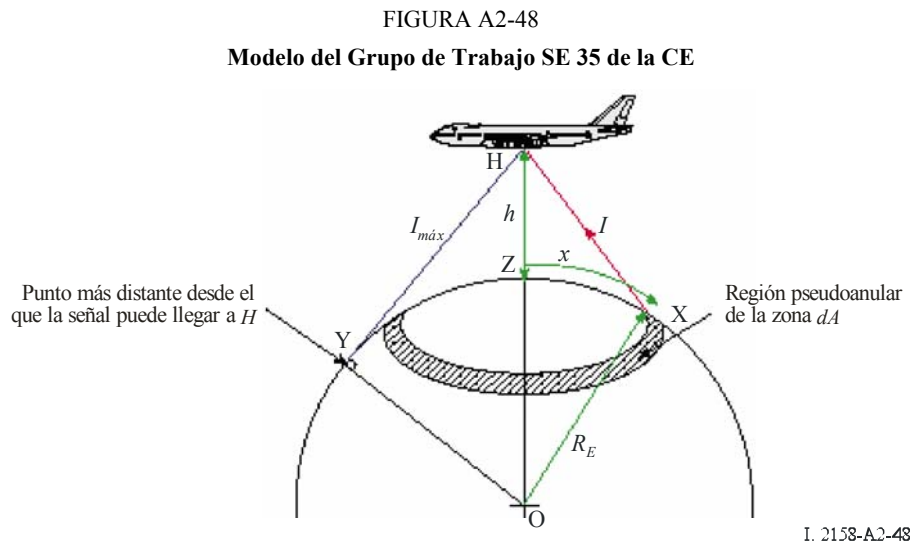
Las ventajas de estas características de reducción de la interferencia en la práctica son que, en condiciones normales de funcionamiento, la gestión de potencia reducirá la densidad espectral de potencia en 18 dB, lo que supone a su vez una reducción de la intensidad de campo de perturbación RF de 18 dB, como se ve en la Fig. A2-47 (curvas azules).

Puede reducirse la densidad espectral de potencia en otros 30 dB con diversas técnicas de ranurado, que suelen estar restringidas a determinadas frecuencias o bandas de frecuencias sensibles empleadas para las radiocomunicaciones terrenales. Se muestra el efecto del ranurado sumado a la gestión de potencia en la gama de 6 MHz. Para las frecuencias sensibles la intensidad de campo de perturbación RF puede reducirse en unos 48 dB.

A2.6.3 Modelo de compatibilidad/cómputo geométrico

Para poder evaluar la interferencia causada a los receptores a bordo de aeronaves por la suma de efectos de fuentes PLT se emplea el siguiente modelo de compatibilidad:

El receptor de la aeronave ve un incremento en el ruido de fondo aparente. La geometría del problema se deriva de la Fig. A2-48.



Para una interferencia que toca directamente al receptor (propagación en el espacio libre):

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

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

donde los valores de x y l están físicamente limitados para no rebasar:

$$x_{m\acute{a}x} = R_E \arccos[R_E / (R_E + h)] \text{ y } l_{m\acute{a}x} = \sqrt{h(h + 2R_E)} \text{ respectivamente}$$

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

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

y, en forma normalizada:

$$PFD_{\text{de la densidad de unidad de p.i.r.e.}} = \frac{R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{\left(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2\right)} dx$$

Este modelo tiene en cuenta la adición de efectos de una superficie interferente específica, en relación con la densidad interferente (interferentes/km²). La intensidad de campo interferente correspondiente se deriva de la densidad de flujo de potencia, que puede entonces compararse con los umbrales de evaluación. Los cálculos se realizaron utilizando el programa aritmético Machacad.

A2.6.4 Umbral de evaluación para el servicio de radiocomunicaciones aeronáuticas

Se utilizan como umbrales de interferencia para la evaluación:

- la intensidad de campo interferente máxima permisible por el receptor a bordo de una aeronave, medida en laboratorio; y
- el ruido de fondo medido durante los vuelos de medición;

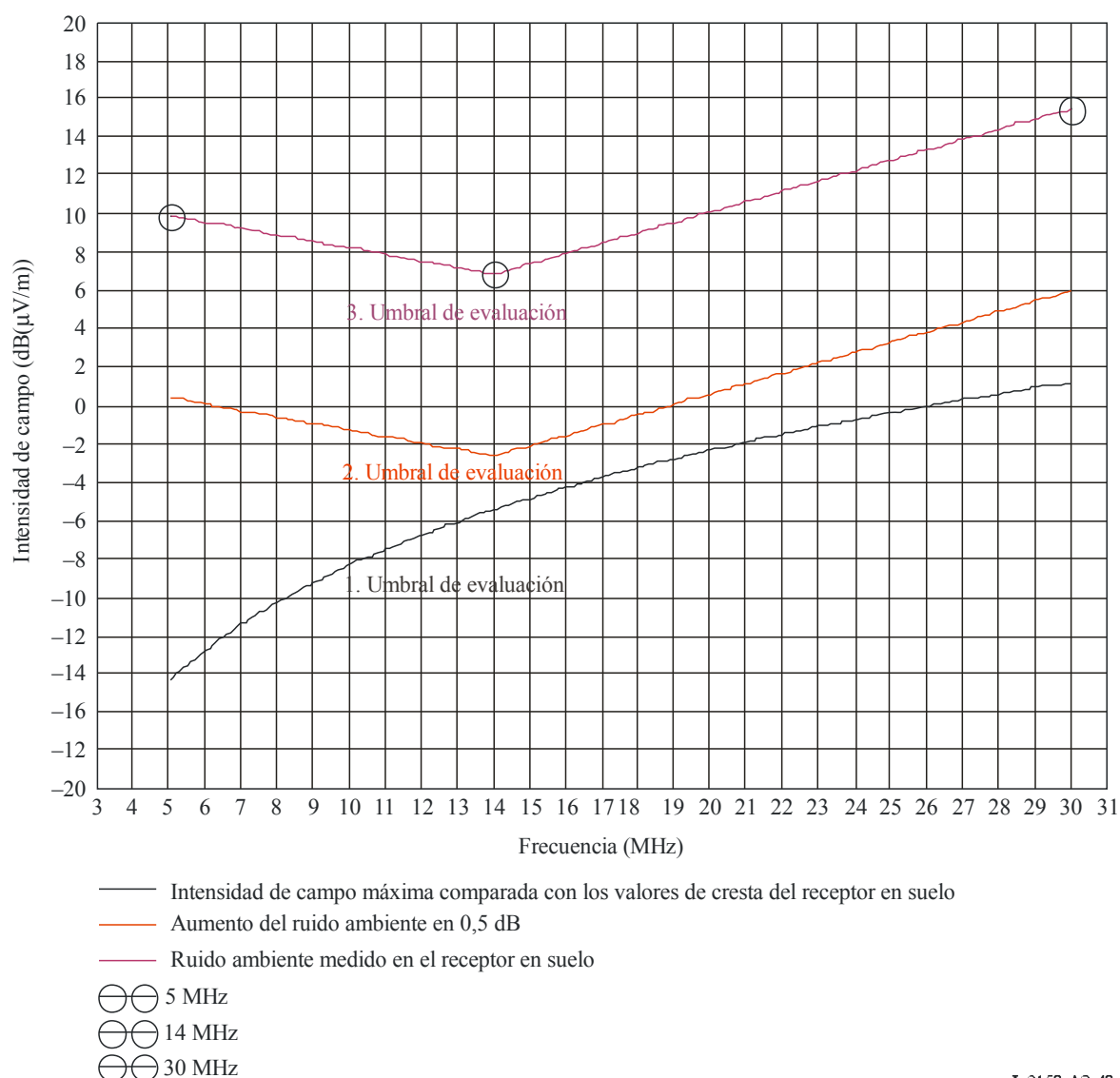
como se muestra en la Fig. A2-49.

Los vuelos de medición se realizaron en el marco de las actividades de un Grupo de Trabajo de BNetzA en cooperación con la NARFA (Agencia Nacional de Radiofrecuencias Aliadas), el buque Landsberg de la aeronaval y la asociación alemana de operadores de redes de cable (ANGA). Se realizaron tres vuelos de medición a diversas altitudes, durante los cuales se midieron los ruidos de fondo en las frecuencias 5 MHz, 14 MHz y 30 MHz. Estos valores constituyen, junto con la intensidad de campo interferente máxima permisible (curva negra de la Fig. A2-49), un segundo umbral de evaluación (curva rosa de la Fig. A2-49). Como tercer umbral en la Fig. A2-49 (curva roja) se muestra una curva alrededor de 9,5 dB, donde un ruido similar a la señal interferente genera un ruido total que aumentaría el ruido de fondo medido en no más de 0,5 dB.

Se considera que un aumento del ruido de fondo en 0,5 dB se encuentra en el límite de lo admisible para un servicio de seguridad como es el móvil aeronáutico.

FIGURA A2-49

Umbral de evaluación de la compatibilidad entre la PLT y el servicio aeronáutico



I. 2158-A2-49

A2.6.5 Resultados del análisis

Se examinaron las intensidades de campo generadas por la aplicación PLT en función de los tres umbrales de evaluación. En los cuadros siguientes se muestra en cuántos dB se ha de reducir la señal PLT interferente para lograr la compatibilidad con los criterios de evaluación correspondientes. Se incluyen los casos en que se aplicó la gestión de potencia y el ranurado, así como la combinación de estas dos medidas de reducción de la interferencia.

Estos cálculos se basan en una densidad de interferentes de 250 interferentes/km², una altitud de aeronave de 1 km y un radio de zona de interferencia de 10 km. Pueden verse las características de radiación de los interferentes en la Fig. A2-47. En los Cuadros A2-10, A2-11 y A2-12 se especifica, para cada uno de los criterios (sensibilidad del receptor, incremento de ruido en 0,5 dB, incremento de ruido en 3 dB), en cuántos dB se ha de reducir la superficie de campo interferente radiada por todas las fuentes puntuales PLT (para los casos anteriores) a fin de garantizar la compatibilidad con un receptor a bordo de una aeronave. No se logra la compatibilidad ni cuando se utilizan la gestión de potencia y el ranurado. En el Cuadro A2-13 se indican los valores de corrección pertinentes para las distintas densidades de interferentes.

CUADRO A2-10

**250 interferentes/km², radio de superficie de campo interferente 10 km,
altitud de vuelo 1 km**

Sensibilidad del receptor	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz
PLT (–55 dBm/Hz)	–65 dB	–59 dB	–55 dB	–52 dB	–50 dB	–49 dB
PLT (gestión de potencia)	–47 dB	–41 dB	–37 dB	–34 dB	–32 dB	–31 dB
PLT (ranurado)	–35 dB	–29 dB	–25 dB	–22 dB	–20 dB	–19 dB
PLT (gestión de potencia + ranurado)	–17 dB	–11 dB	–7 dB	–4 dB	–2 dB	–1 dB

Para un incremento máximo de 0,5 dB del ruido, en comparación con el ruido causado por las señales PLT interferentes, la gestión de potencia y el ranurado de las frecuencias pertinentes en todos los dispositivos PLT garantizan la compatibilidad sólo por encima de 20 MHz (campos resaltados en verde en la última fila del Cuadro A2-11). Por debajo de 20 MHz, los valores calculados son superiores en hasta 3,5 dB.

CUADRO A2-11

**250 interferentes/km², radio de superficie de campo interferente 10 km,
altitud de vuelo 1 km**

Incremento del ruido en 0,5 dB	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz
PLT (–55 dBm/Hz)	–50,5 dB	–51,5 dB	–51,5 dB	–49 dB	–46,5 dB	–45,5 dB
PLT (gestión de potencia)	–32,5 dB	–33,5 dB	–33,5 dB	–31 dB	–28,5 dB	–27,5 dB
PLT (ranurado)	–20,5 dB	–21,5 dB	–21,5 dB	–19 dB	–16,5 dB	–15,5 dB
PLT (gestión de potencia + ranurado)	–2,5 dB	–3,5 dB	–3,5 dB	–1 dB	1,5 dB	2,5 dB

En el caso del tercer umbral de evaluación (incremento de ruido máximo de 3 dB) sólo la gestión de potencia combinada al ranurado en toda la gama de frecuencias pertinente bastaría (campos resaltados en verde del Cuadro A2-12). Sin embargo, este umbral de evaluación puede considerarse irreal a causa de la duplicación de la potencia de ruido, por lo que no se cumplen los requisitos aplicables a los servicios de seguridad.

CUADRO A2-12

**250 interferentes/km², radio de superficie de campo interferente 10 km,
altitud de vuelo 1 km**

Incremento del ruido en 3 dB	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	25 MHz	30 MHz
PLT (–55 dBm/Hz)	–41 dB	–42 dB	–42 dB	–39,5 dB	–37 dB	–36 dB
PLT (gestión de potencia)	–23 dB	–24 dB	–24 dB	–21,5 dB	–19 dB	–18 dB
PLT (ranurado)	–11 dB	–12 dB	–12 dB	–9,5 dB	–7 dB	–6,5 dB
PLT (gestión de potencia + ranurado)	7 dB	6 dB	6 dB	8,5 dB	11 dB	12 dB

Para densidades de interferentes distintas de 250 interferentes/km², pueden aplicarse los siguientes valores de corrección.

CUADRO A2-13

Corrección de la densidad de interferentes

Densidad de interferentes (interferentes/km²)	Valor de corrección (dB)
50	7 dB
100	4 dB
150	2 dB
200	1 dB
250	0 dB
300	-1 dB

A2.6.6 Otros determinantes

En el examen anterior, la densidad de interferentes se utiliza como parámetro de compatibilidad más importante. El estudio de otros parámetros, como la altitud de vuelo, el radio de la superficie interferente considerada o los llamados puntos de concentración máxima, ha demostrado que su influencia en los cálculos es inapreciable.

A2.6.7 Requisitos aplicables a los dispositivos PLT para la protección del servicio móvil aeronáutico en ondas decamétricas

Es innegable que es necesario proteger adecuadamente los receptores del servicio móvil aeronáutico a bordo de aeronaves contra la interferencia. La cuestión está en saber hasta qué punto y por qué medios se puede garantizar esa protección sin poner en peligro la evolución de la tecnología PLT.

El CISPR está estudiando si en frecuencias de radiocomunicaciones sensible se pueden utilizar medidas de reducción de la interferencia, como el ranurado, a fin de reducir la densidad espectral de potencia de la señal PLT deseada permanente o dinámicamente, en función de las condiciones locales de recepción y del tipo de servicio de radiocomunicaciones.

Anexo 3**Emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT****A3 Emisiones de radiofrecuencias de los sistemas PLT****A3.1 Medición de los niveles RF radiados involuntariamente por la PLT de acceso en las bandas de ondas decamétricas****A3.1.1 Introducción**

Los sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) se han utilizado ampliamente para ofrecer a los clientes nuevas soluciones de transmisión de datos, servicios Internet y conexión del último kilómetro. Sin embargo, la energía involuntariamente radiada, generada por la PLT, puede causar interferencia perjudicial a los sistemas vecinos que operan en la gama 1 700 kHz-80 MHz, que comprende las bandas de ondas decamétricas.

A3.1.2 Objetivo

Realizar un análisis completo y práctico de los niveles de radiación PLT y su posible interferencia a los sistemas de ondas decamétricas.

A3.1.3 Concepto de interferencia

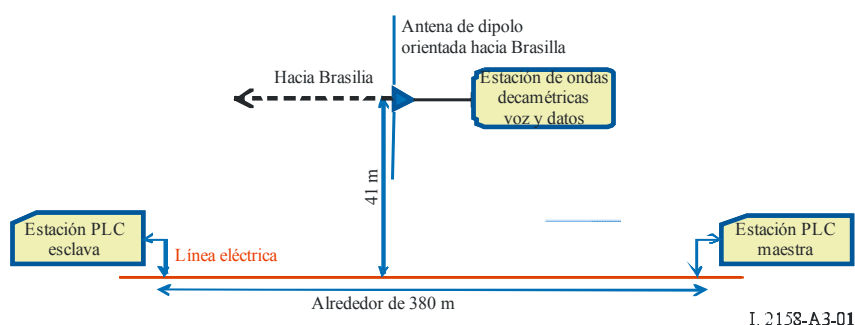
El concepto básico de interferencia se explica por los dispositivos que irradia suficiente energía para perturbar o interrumpir el funcionamiento de otros sistemas regulados. Así, en primer lugar es importante conocer los niveles RF máximos de las fuentes interferentes que pueden soportar los sistemas de comunicaciones en ondas decamétricas sin sufrir perturbaciones.

A3.1.4 Descripción de la prueba

A fin de realizar un estudio preliminar de los niveles radiados en las bandas de ondas decamétricas, se realizaron algunas pruebas en Brasil. Las pruebas se elaboraron en Campinas, Sao Paulo, utilizando la configuración que se muestra en la Fig. A3-1. Se instalaron un equipo PLT de segunda generación operativo en una línea eléctrica de baja tensión (380 m) y una antena de ondas decamétricas a 41 m de él. La estación de Campinas se conectó con Brasilia mediante un enlace de ondas decamétricas a fin de transmitir y recibir voz y datos. A causa de las dimensiones de la antena de ondas decamétricas (dipolo de banda ancha), no fue posible reubicarla fácilmente, por lo que se mantuvo siempre en el mismo emplazamiento.

FIGURA A3-1

Diagrama de la PLT, la antena y la estación de ondas decamétricas



I. 2158-A3-01

En un primer momento se realizaron mediciones del ruido ambiental para obtener datos de la ocupación del espectro sin el funcionamiento de la PLT. Las mediciones se efectuaron en bloques de 2 MHz de anchura de banda entre 3 MHz y 30 MHz, como en el ejemplo de la Fig. A3-2.

En la Fig. A3-3 se ve el espectro entre 3 MHz y 12 MHz sin funcionamiento del sistema PLT y en la Fig. A3-4 con la presencia de energía PLT en la misma banda.

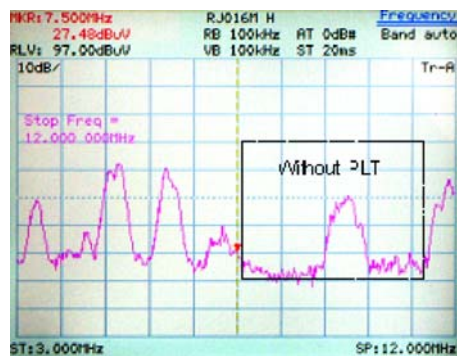
En la Fig. A3-5 se muestra el espectro PLT en funcionamiento entre 7,98 MHz y 12,5 MHz y en la Fig. A3-6 se ven otros equipos PLT operativos en la banda ancha entre 3 MHz y 30 MHz.

FIGURA A3-2

Ocupación espectral ambiente

I. 2158-A3-02

FIGURA A3-3

3 MHz a 12 MHz sin funcionamiento PLT

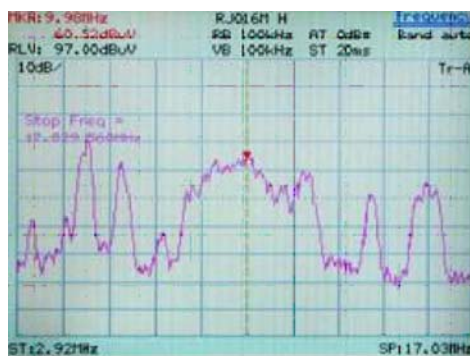
I. 2158-A3-03

FIGURA A3-4

Espectro PLT en funcionamiento

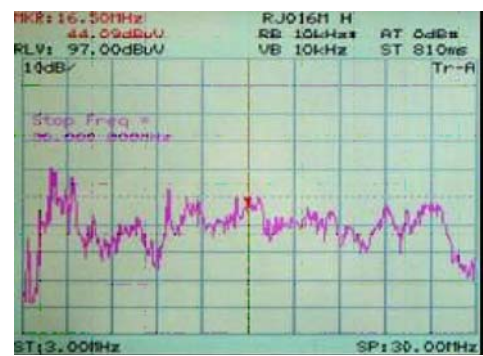
I. 2158-A3-04

FIGURA A3-5

Funcionamiento PLT entre 7,98 MHz y 12,5 MHz

I. 2158-A3-05

FIGURA A3-6

Funcionamiento PLT en banda ancha

I. 2158-A3-06

Los niveles de PLT fueron registrados por la antena de ondas decamétricas a fin de facilitar la misma información recibida por el sistema de ondas decamétricas. El funcionamiento de la PLT indicó niveles superiores a 60 dB(μ V) en partes del espectro.

Los niveles de recepción del enlace de ondas decamétricas en Campinas se situaron entre 13 y 49 dB(μ V) (mediciones basadas en un tono de prueba de 1 kHz). Cuando la PLT estaba en funcionamiento, se bloqueaba la transmisión de datos en ondas decamétricas y se constató un fuerte ruido en el receptor de audio, que perturbaba totalmente la recepción de la voz.

El nivel de PLT en la distancia determinada tenía intensidad suficiente para causar interferencia perjudicial. Se redujo gradualmente el nivel de PLT a fin de conocer el umbral de interferencia. Sin embargo, a esta distancia cualquier nivel de PLT bloquea la transmisión de datos, por lo que no se pudo llegar a un umbral.

A3.1.5 Observaciones

La energía radiada por los sistemas PLT puede causar interferencia a las comunicaciones en ondas decamétricas en otras bandas, como queda claramente demostrado por las pruebas. Por consiguiente, es necesario utilizar alguna técnica de reducción de la interferencia para que la compartición del espectro de ondas decamétricas sea viable.

Teóricamente, si consideramos los parámetros de sensibilidad del equipo de ondas decamétricas, podríamos estimar un nivel de PLT aceptable máximo que evitaría la interferencia. Por ejemplo, entre 10 dB SINAD y 0,5 μ V, es decir, el equivalente a -6 dB(μ V) (nivel de entrada mínimo en ondas decamétricas), el nivel máximo generado por la PLT debería ser de -16 dB(μ V), que puede ser inferior a los niveles de ruido de fondo en algunos emplazamientos.

El modelo de irradiación de líneas eléctricas que establece una analogía con una antena se enfrenta a cuestiones complejas como, por ejemplo, cómo considerar las irregularidades geométricas, los distintos entornos circundantes, las zonas rurales y residenciales, etc. Estos parámetros pueden modificar drásticamente la propagación de las ondas y no ofrecen resultados fiables. Además, las zonas vecinas estarán en campos cercanos (zona reactiva o zona de Fresnel), y por lo que la predicción de los niveles de radiofrecuencias irradiadas con un modelo general se revela difícil.

Estos parámetros llevan a pruebas empíricas a fin de tener una representación práctica de las distancias de coordinación mínimas necesarias entre la PLT y los sistemas de ondas decamétricas. Por consiguiente, se realizaron más pruebas en Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, donde hay un sistema PLT operativo.

Se estableció un enlace de ondas decamétricas entre las estaciones de Porto Alegre y Rio de Janeiro. Las pruebas se realizaron en abril de 2008, utilizando una estación de ondas decamétricas móvil con una antena plegable. Se siguió básicamente el mismo procedimiento utilizado en Campinas, a diferencia de que la estación de ondas decamétricas podía alejarse de la fuente PLT y recopilar más datos continuamente.

La PLT causó interferencia perjudicial a los sistemas de ondas decamétricas, aunque se minimizó a distancias superiores a 450 m de las líneas eléctricas. Cabe señalar que se trataba de un enlace de ondas decamétricas de corta distancia (un salto en la ionosfera), que suele tener una señal más fuerte que los enlaces de larga distancia, por lo que la distancia mínima con respecto a la PLT probablemente habrá de aumentarse para evitar la interferencia.

A3.1.6 Posible técnica de reducción de la interferencia

Tomando como criterio unos niveles medios de receptor de ondas decamétricas de enlace largo (más de 1 500 km) y corto (hasta 1 500 km), es posible considerar algunas distancias realizables entre los sistemas PLT y las estaciones de ondas decamétricas para reducir o minimizar la interferencia.

- a) enlace de ondas decamétricas de larga distancia: 1 000 m; y
- b) enlace de ondas decamétricas de corta distancia: 500 m.

La separación geográfica es necesaria para garantizar mínimamente que se evita la interferencia causada por la PLT a los receptores de ondas decamétricas.

A3.1.7 Conclusiones

Las técnicas de modelización para estimar los niveles RF radiados por las líneas eléctricas que utiliza la PLT resultarán de utilidad sólo para las líneas lineales.

Los niveles de PLT estimados con antenas de bucle pueden ofrecer una estimación aproximada del potencial interferente, aunque no es posible determinar con exactitud los niveles umbral a causa de las fuertes variaciones que sufren las ondas decamétricas entre el día y la noche.

En las proximidades de las instalaciones PLT es probable que los servicios de radiodifusión MA sufran interferencia cuando la PLT utilice la misma frecuencia.

Con una serie de mediciones de la PLT cerca de sistemas de ondas decamétricas se puede tener una buena imagen de la propagación real de la señal, por lo que parece el método más adecuado para determinar las distancias de protección.

Un método factible de reducir la interferencia puede ser considerar la situación interferente más desfavorable, cuando la estación de ondas decamétricas esté instalada en las cercanías de un sistema PLT operativo, y utilizar las distancias indicadas en el § A.3.1.6 como criterio de protección de las estaciones que se utilizan con enlaces de ondas decamétricas de larga y corta distancia.

A3.2 Medición de las emisiones radiadas por dispositivos de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticas en un entorno residencial de Canadá

A3.2.1 Introducción

A raíz de las mediciones realizadas por Kitagawa y Ohishi⁵¹, la Asociación Norteamericana de Radiodifusores (NABA) contrató al Centro de Investigaciones de Comunicaciones (CRC) de Canadá para llevar a cabo mediciones de dispositivos de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) operativos en un entorno residencial. En esta sección se describen los procedimientos de la prueba y los resultados de las mediciones de la intensidad de campo de las emisiones PLT a fin de determinar las posibilidades que tienen de causar interferencia. En el Apéndice 1 se presenta el Informe del CRC⁵². Las mediciones demuestran claramente que es necesario proteger contra la interferencia al servicio de radiodifusión (SR). Dado que los dispositivos PLT no tienen atribuciones de frecuencias en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT, los criterios de protección del servicio de radiodifusión que conviene aplicar son los de la Recomendación UIT-R BT.1786.

⁵¹ KITAGAWA, M. and OHISHI, M. [marzo de 2008] Measurements of the radiated electric field and the common mode current from the in-house broadband power line communications in residential environment I. IEICE Tech. Rep., Vol. 107, **533**, EMCJ2007-117, p. 1-6.

⁵² <http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf>.

A3.2.2 Medición de potencia conducida – Procedimientos de prueba y resultados

Se sometieron a la prueba ocho dispositivos PLT disponibles en el mercado, que representan las diversas normas PLT existentes. Estos dispositivos pueden adquirirse fácilmente en Estados Unidos de América, Canadá y Japón. Los dispositivos PLT, que se muestran en el Cuadro A3-1, fueron evaluados en el laboratorio del CRC antes de realizar las pruebas en el terreno.

Como puede verse en el Cuadro A3-1, muchos de los dispositivos PLT utilizan la misma norma o versiones diferentes de la misma norma. Tras la evaluación en laboratorio, se decidió limitar el número de dispositivos PLT a uno por norma para la prueba en el terreno. Se escogieron los dispositivos 2, 3 y 6.

En la Fig. A3-7 puede verse la configuración de laboratorio para la medición de la potencia conducida. La alimentación eléctrica c.a. procedía de la alimentación general del CRC a través de un transformador y un disyuntor a fin de aislar y convertir la c.a. de 110 V a 120 V, tensión de fase única de 60 Hz. Dos enchufes, utilizados para conectar los pares de dispositivos PLT, se vincularon a un cable eléctrico 14/2 puesto a tierra de 1,75 m, típico de los inmuebles residenciales. Se asignó una computadora a cada dispositivo PLT para la transferencia de los datos. Una computadora envió un gran fichero a la computadora receptora.

La medición de potencia de las señales inferiores a 30 MHz se realizó utilizando un analizador de espectro Agilent E4405B, configurado con una anchura de banda de resolución de 9 kHz y que utiliza la detección de cresta y una huella de rastreo máxima de 10 segundos. A fin de medir la señal conducida de los dispositivos PLT con el analizador de espectro, fue necesario insertar un filtro c.a. para eliminar la componente 60 Hz, 110 V a 120 V. El filtro c.a. era un filtro LC de 2º orden con una frecuencia de corte de 1 MHz.

CUADRO A3-1

Lista de dispositivos PLT evaluados para las pruebas en el terreno

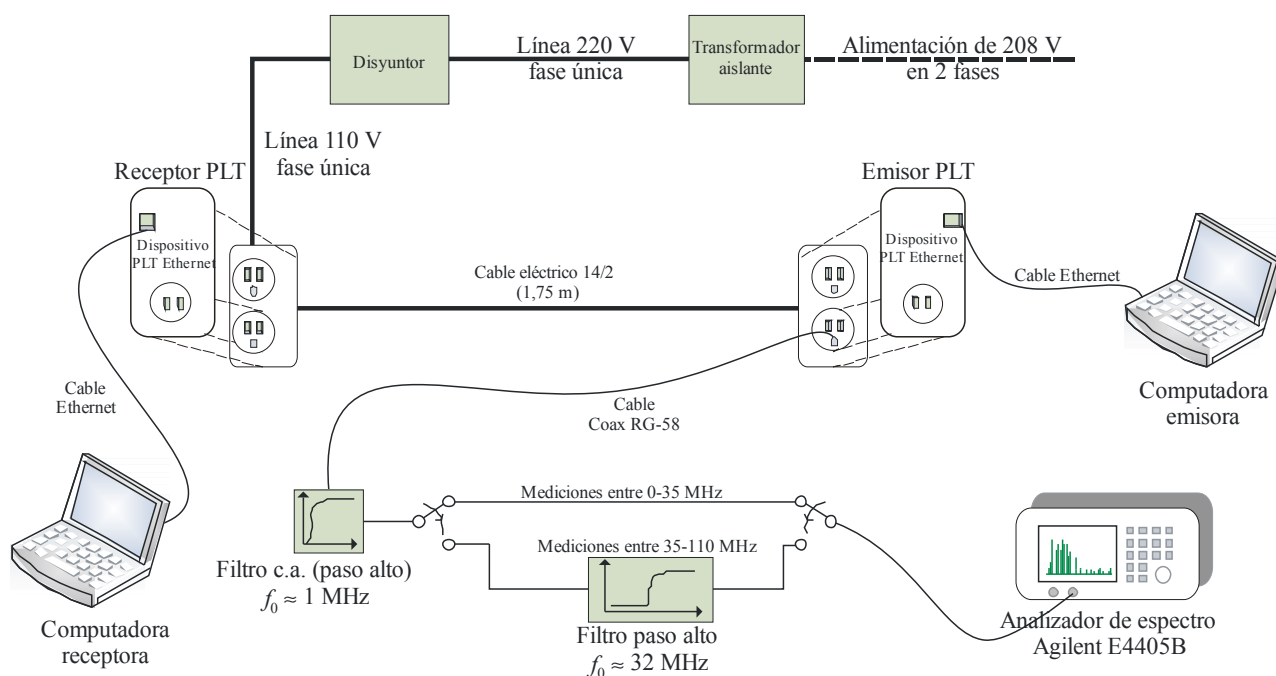
Dispositivo N.º	Fabricante	Modelo	Norma PLT	Especificación del fabricante		
				Velocidad de datos (Mbit/s)	Gama de frecuencias operativa (MHz)	Región
1	TrendNet	TPL-202E	HomePlug 1.0 Turbo	85	4,5-21,0	América del Norte
2	Panasonic	BL-PA100	HD-PLC	190	4,0-28,0	América del Norte
3	Linksys	PLK200	HomePlug AV	100	No especificado	América del Norte
4	NetGear	XE102GNA	HomePlug 1.0	14	4,3-20,9	América del Norte
5	NetGear	XE103G- 100NAS	HomePlug 1.0	85	4,3-20,9	América del Norte
6	NetGear	HDX101- 100NAS	UPA	200	2,0-30,0	América del Norte
7	Logitec	LPL-TX/S	UPA	200	2,0-30,0	Japón
8	CNC	CNC-1000	HomePlug 1.0	85	4,3-20,9	Japón

Para medir las señales de bajo nivel por encima de 30 MHz con mayor precisión, se utilizó un filtro paso alto para atenuar las principales portadoras de señal PLT presente en la gama de frecuencias operativa. Esto fue necesario para medir las emisiones hasta 110 MHz sin sobrecargar el analizador de espectro. Como se ve en la Fig. A3-7, se emplearon dos configuraciones de laboratorio: una con filtro de paso alto y otra sin. El filtro de paso alto fue facilitado por Tin Lee Electronics Ltd., modelo número HP7 30/33(40) B50, con una frecuencia de corte de -3 dB de 32 MHz. Sólo las mediciones por encima de 35 MHz se realizaron y registraron utilizando este filtro de paso alto. La anchura de banda de resolución de estas mediciones fue de 120 kHz.

Las mediciones de la potencia conducida se efectuaron en la gama de frecuencias 0 MHz-110 MHz de dos maneras distintas: en modo transferencia de datos y en modo en reposo (ausencia de transferencia activa de datos). El objetivo de la prueba era determinar el nivel de salida inyectado en las líneas eléctricas hasta 110 MHz en ambos modos, así como la anchura de banda y la forma espectral de los dispositivos PLT.

FIGURA A3-7

Configuración de prueba de medición de la potencia conducida de los dispositivos PLT



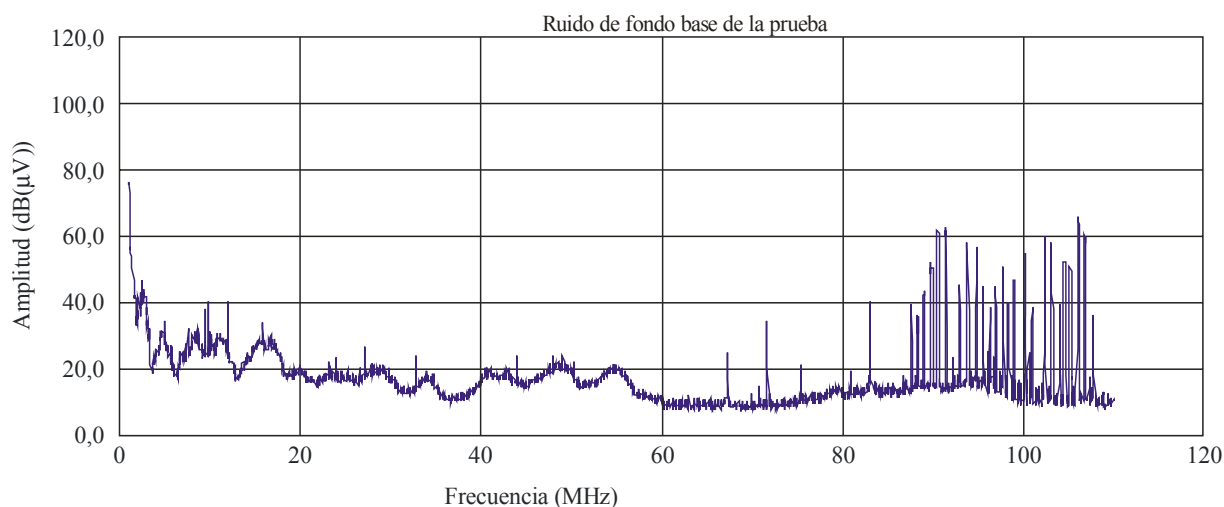
I. 2158-A3-07

Para lograr la mayor precisión posible, las mediciones se efectuaron entre 0 MHz y 110 MHz en intervalos de frecuencia consecutivos de 10 MHz de anchura con el analizador de espectro configurado con una anchura de banda de resolución de 9 kHz y empleando la detección de cresta. En general, el nivel de referencia del analizador de espectro se ajustó al nivel más bajo posible sin crear una sobrecarga espectral. Al utilizarse un filtro paso alto para aumentar la precisión de las mediciones en las frecuencias superiores a 35 MHz, en los resultados puede observarse una discontinuidad en el ruido de fondo a 35 MHz.

La medición del ruido de fondo de referencia para la prueba se muestra en la Fig. A3-8, que ilustra de qué manera la configuración de la línea eléctrica ejerce de antena y capta señales de otros sistemas de radiocomunicaciones. Los picos entre 85 MHz y 108 MHz se deben a estaciones de radio FM locales, mientras que los picos en otras frecuencias son intermitentes y probablemente están causados por otros sistemas de radiocomunicaciones. Resultó necesario tener en cuenta esta información al examinar los resultados de las emisiones conducidas.

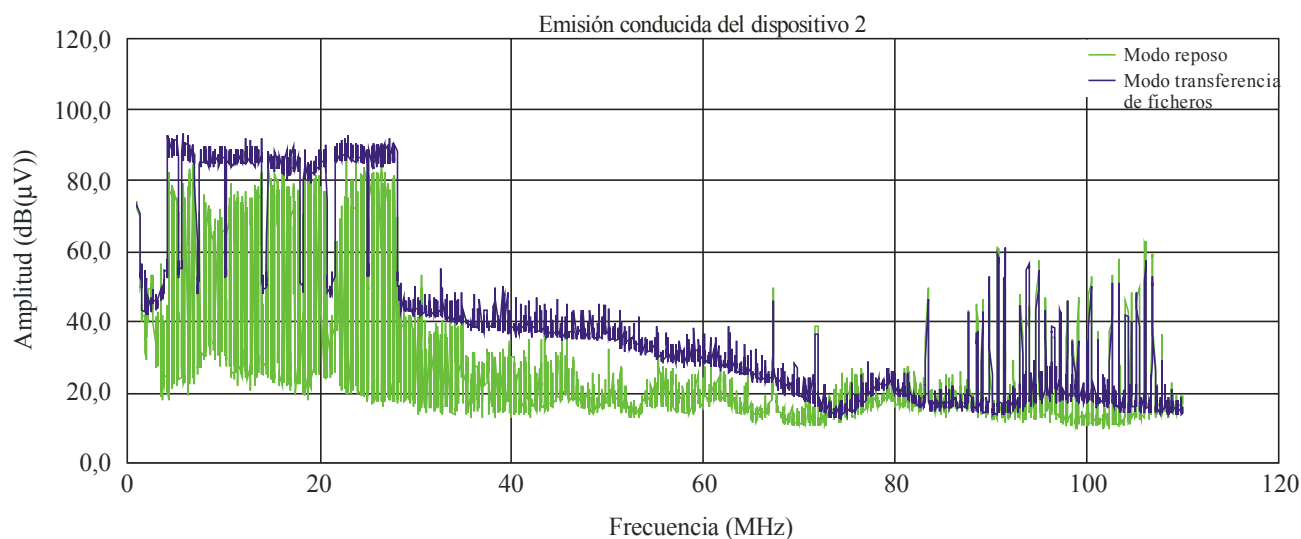
En las Figs. A3-9, A3-10 y A3-11 se muestran los resultados obtenidos para los dispositivos 2, 3 y 6, respectivamente. La curva azul representa la señal conducida durante la transferencia de datos y la curva verde (por lo general, la línea inferior) representa la señal conducida en el modo en reposo. Como puede verse en las figuras, el nivel de la señal en el modo en reposo no rebasa el nivel de la señal en el modo transferencia de datos. Además, los dispositivos probados no funcionan de la misma manera en el modo en reposo. Los dispositivos PLT 2 y 3 transmitían portadoras ocasionales para mantener el canal abierto y sincronizado, mientras que el dispositivo 6 transmitía constantemente en toda la anchura de banda de la señal. Los resultados de las mediciones realizadas con otros dispositivos PLT se reproducen en el Apéndice A del Informe del CRC, que es el Apéndice 1 del presente Anexo.

FIGURA A3-8

Ruido de fondo de base de la prueba de medición de emisiones conducidas

I. 2158-A3-08

FIGURA A3-9

Potencia conducida del dispositivo 2 (norma HD-PLC)

I. 2158-A3-09

FIGURA A3-10

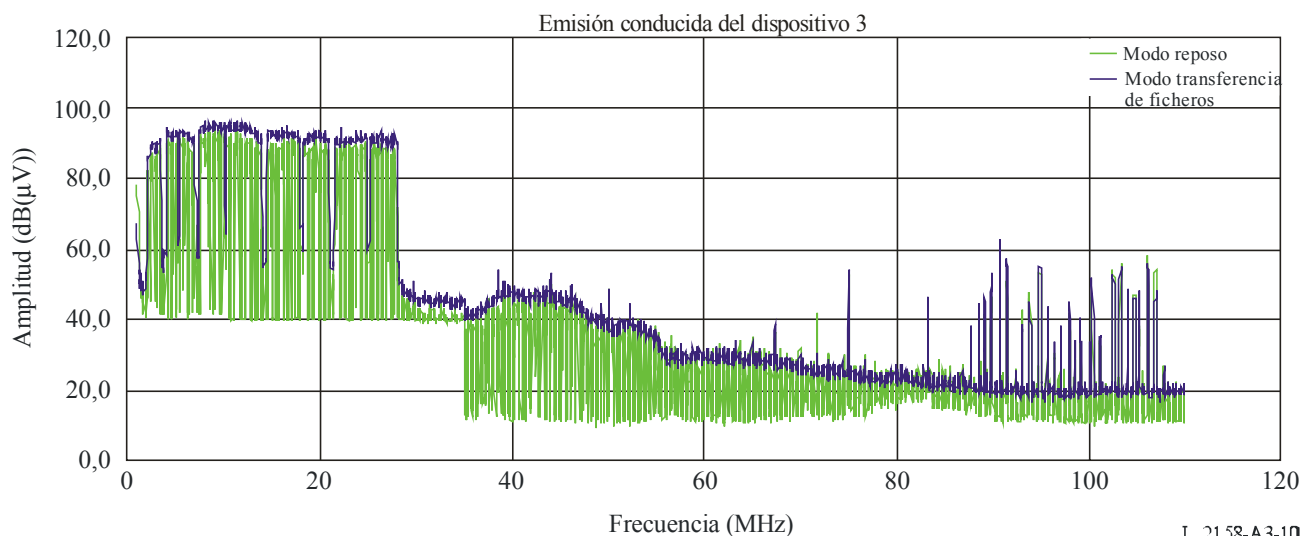
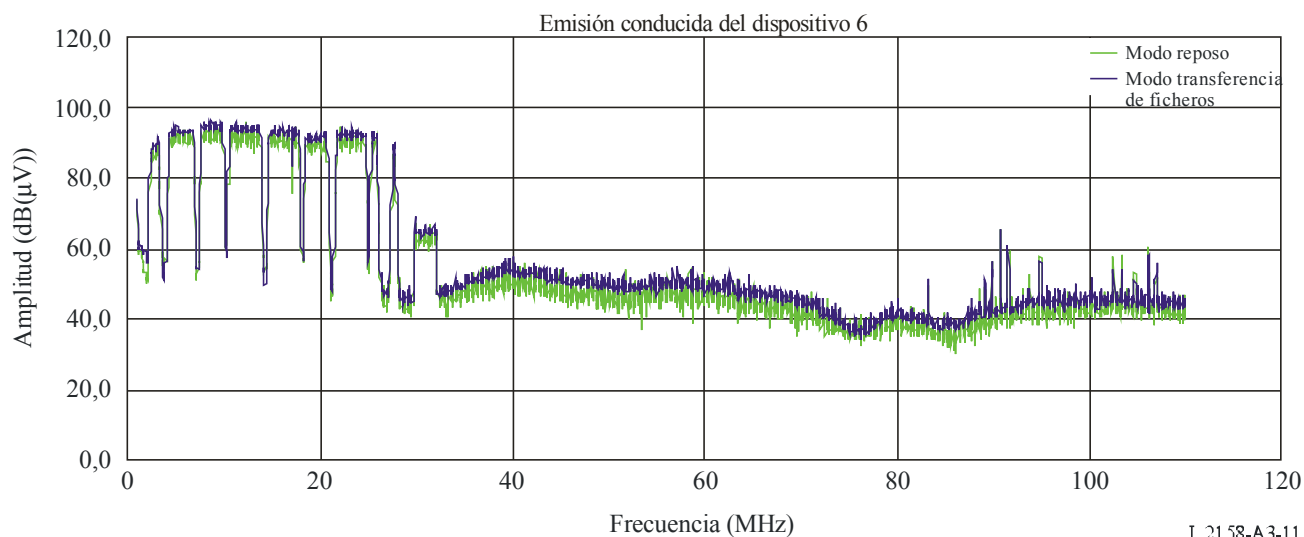
Potencia conducida del dispositivo 3 (norma Homeplug AV)

FIGURA A3-11

Potencia conducida del dispositivo 6 (norma UPA)

Estos resultados demuestran que, aun cuando el dispositivo PLT no transmite datos, genera activamente emisiones. También se puede ver que, aun cuando el dispositivo PLT funciona por debajo de 30 MHz, sus emisiones llegan hasta los 80 MHz.

A3.2.3 Medición de la intensidad de campo – Procedimiento y resultados

Las mediciones de la intensidad de campo RF se realizaron utilizando casas residenciales de uno y dos plantas cerca de Ottawa, Canadá. La mayoría de casas están conectadas a la red de distribución eléctrica (fase única a 220 V) mediante líneas subterráneas, pero algunas utilizan líneas aéreas. Las partes delanteras y traseras de las casas estaban lo suficientemente despejadas para poder realizar mediciones de intensidad de campo a tres y diez metros de los muros exteriores, por lo que fueron éstas las orientaciones seleccionadas para las mediciones.

Se seleccionó un total de 17 casas para realizar las pruebas en el terreno, como se muestra en el Cuadro A3-2, que representan diversas distribuciones y materiales de construcción. En el cuadro se enumeran los emplazamientos de prueba, indicándose el tipo de casa, el material de los muros

exteriores y el tipo de línea eléctrica utilizada para conectar la casa a la red de distribución del vecindario (línea subterránea o aérea). En el Apéndice B del Informe del CRC, que puede consultarse en el Apéndice del presente Anexo, se ofrece una descripción completa de los 17 emplazamientos, con fotografías y un diagrama de cada una de las casas.

CUADRO A3-2

Descripción de los emplazamientos de prueba en el terreno

Empla- zamiento N.º	Tipo de casa	Material del muro exterior				Línea eléctrica
		Muro delantero		Muro trasero		
		1 ^{er} piso	2º piso	1 ^{er} piso	2º piso	
1	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Vinilo	Vinilo		Subterránea
2	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Ladrillo/canaxe l	Ladrillo	Canaxel	
3 ⁽¹⁾	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Ladrillo/vinilo	Vinilo		
4	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Ladrillo	Ladrillo	Aluminio	
5	Independiente, dos plantas	Ladrillo		Ladrillo	Aluminio	Subterránea
6	Edificio, dos plantas	Ladrillo	Ladrillo/vinilo	Vinilo		
7	Independiente, dos plantas	Ladrillo		Vinilo		
8	Independiente, dos plantas	Ladrillo		Vinilo		
9	Independiente, una planta	Ladrillo	N/A	Vinilo	N/A	
10	Edificio, dos plantas	Ladrillo	Aluminio	Aluminio	Aluminio	
11	Independiente, una planta	Estuco	N/A	Estuco	N/A	
12	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Vinilo	Vinilo		Aérea
13	Independiente	Ladrillo		Ladrillo	Vinilo	Subterránea
14	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Piedra	Ladrillo	Piedra	Aérea
15	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Aluminio	Ladrillo	Aluminio	
16	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Ladrillo/piedra	Vinilo		Subterránea
17	Independiente, dos plantas	Ladrillo	Ladrillo/vinilo	Vinilo		

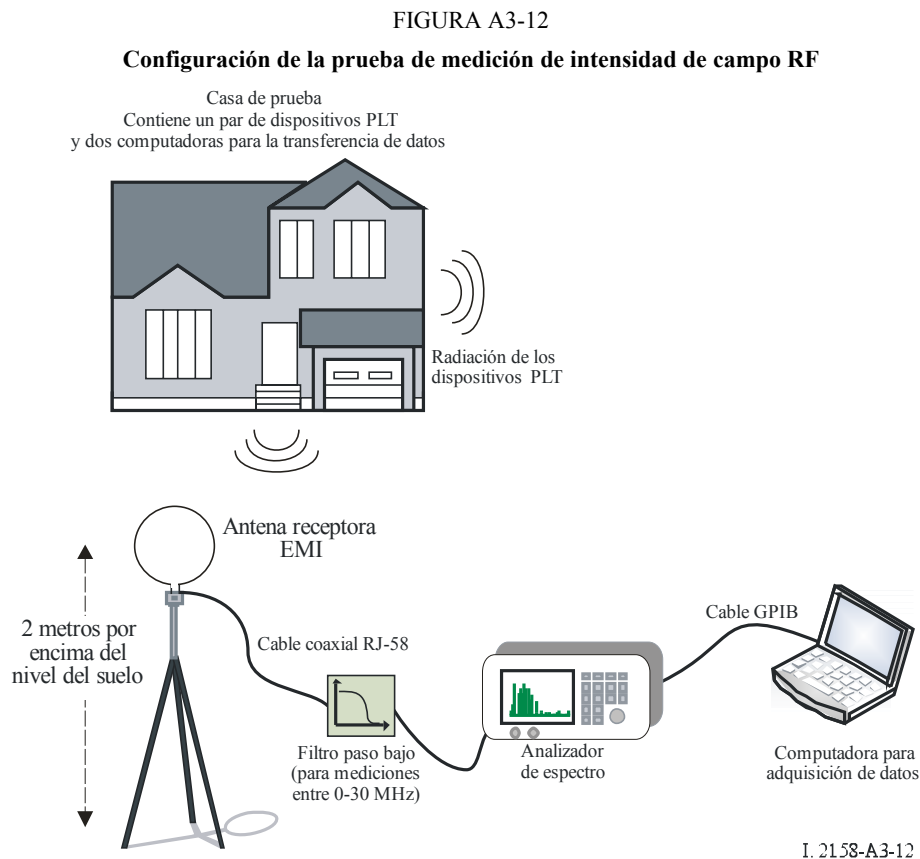
⁽¹⁾ No se utilizaron en el análisis los datos del emplazamiento 3. Se constató que los dispositivos PLT operativos en una casa adyacente durante la prueba interfirieron en los resultados.

Los dispositivos PLT (2, 3 y 6) se probaron por pares del mismo modelo, conectados a los enchufes CA dentro de las casas. Los dispositivos se posicionaron dentro de las casas de tal manera que estuviesen alejados uno de otro, presentando una red doméstica realista. Los dispositivos se posicionaron de manera que un dispositivo del par PLT estuviese en una habitación cerca de la fachada de la casa y el otro cerca de la parte trasera. En el caso de las casas de dos plantas, un dispositivo se situó en el bajo, y el segundo en el primer piso. Cada dispositivo se conectó a un computador personal. Se probaron dos modos de funcionamiento PLT: modo transferencia de datos en todas las casas y modo en reposo en algunas casas seleccionadas. En el modo transferencia de datos, las mediciones se realizaron mientras se transfería un gran fichero de un computador a otro. También se realizaron en cada emplazamiento mediciones de referencia del ruido ambiente.

Se midió la intensidad de campo RF utilizando una antena de bucle pasivo calibrada para la gama de frecuencias 0 MHz-30 MHz (EMC Test Systems, Modelo 6512) y una antena de dipolo pasivo calibrada para las frecuencias 30 MHz-108 MHz (A.H. Systems Inc., Modelo SAS-530, transformador simétrico-asimétrico, y SAS-542, elementos plegables). El factor de antena de estas

antenas se calibró con precisión para efectuar las mediciones de intensidad de campo RF ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$). Las antenas se posicionaron a 2 m por encima del nivel del suelo. Las mediciones se efectuaron a tres y diez metros de distancia con respecto a los muros delanteros y traseros de las casas.

En la Fig. A3-12 se muestra la configuración de prueba de medición de la intensidad de campo RF. Se empleó un filtro paso bajo (Tin Lee Electronics Ltd., Modelo LP7E-30-37 B50, -1 dB corte a 31 MHz, -40 dB corte a 35 MHz) conectado entre la antena y el analizador de espectro para eliminar las señales de ondas métricas de alta potencia (estaciones de televisión y radio FM) al efectuar las mediciones por debajo de 30 MHz, a fin de no sobrecargar el analizador de espectro.



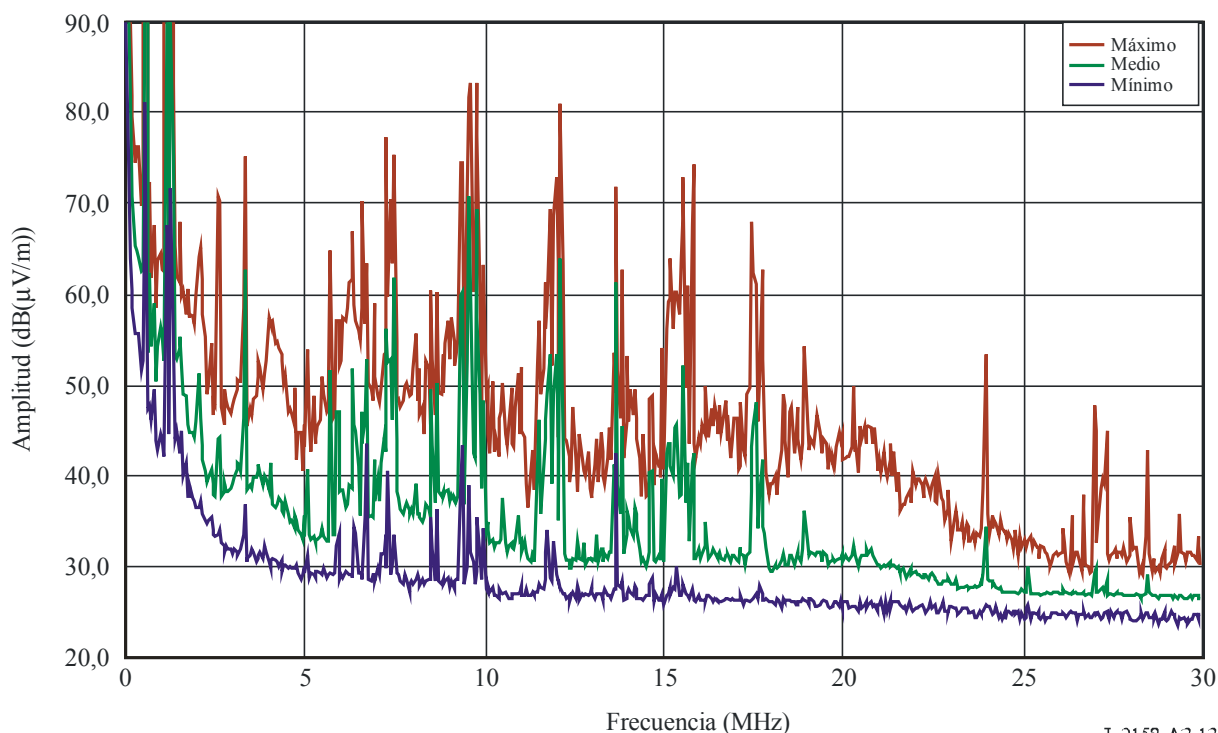
En la Fig. A3-13 se muestran los resultados mínimos, máximos y medios de las mediciones del ruido ambiente (tensión lineal media convertida a dB) realizadas en los 16 emplazamientos de prueba. Se considera que la mayoría de los picos de señal se deben a estaciones de aficionados o en banda de onda corta. Otras fuentes de ruido, como los motores eléctricos (horno, refrigerador y otros electrodomésticos), pueden haber contribuido a aumentar el ruido ambiente.

Para analizar la intensidad de campo RF medida, todas las mediciones realizadas en las 16 casas se agruparon en función del dispositivo utilizado y la distancia con respecto a la casa. Cabe señalar que en el análisis estadístico no se incluye el emplazamiento de prueba 3, a causa de la interferencia causada por los dispositivos PLT adyacentes. En las Figs. A3-14 a A3-19 se muestran los análisis estadísticos de los tres dispositivos. En cada Figura se incluyen los valores máximo, mínimo y medio de la intensidad de campo de cada dispositivo medida. Además, en el estudio se utilizaron las mediciones realizadas en las 16 casas para calcular un intervalo de confianza que pueda representar la intensidad de campo máxima prevista de los dispositivos PLT en casas típicas. El intervalo de confianza del 95% de la intensidad de campo RF se calcula a partir de la desviación normalizada de

las 16 casas, en una distribución normal. Se muestran los límites inferior y superior de este intervalo de confianza del 95%. Los cálculos del análisis estadístico se realizaron con valores lineales. Como ya se ha explicado, la contribución interferente de otras fuentes distintas de los dispositivos PLT era apreciable y no se pudo eliminar del análisis estadístico.

FIGURA A3-13

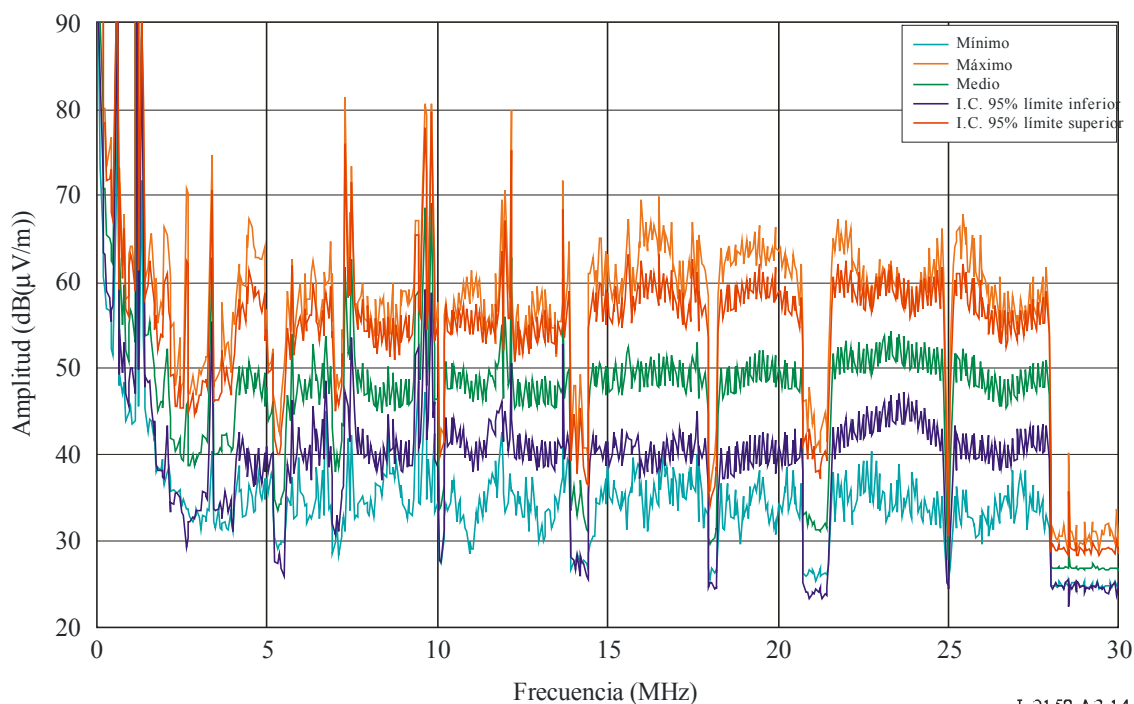
Distribución media de ruido ambiente a 3 m y 10 m en los 16 emplazamientos



I. 2158-A3-13

FIGURA A3-14

Distribución de intensidad de campo RF, dispositivo PLT 2 (HD-PLC) a 3 m



I. 2158-A3-14

FIGURA A3-15

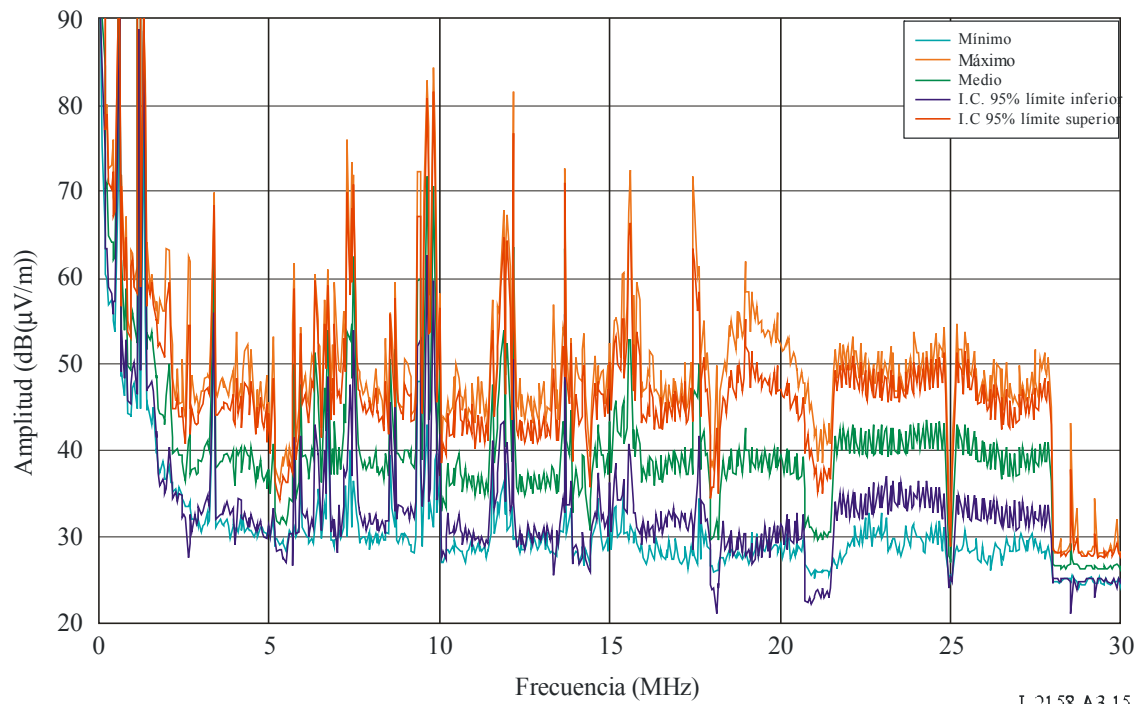
Distribución de intensidad de campo RF, dispositivo PLT 2 (HD-PLC) a 10 m

FIGURA A3-16

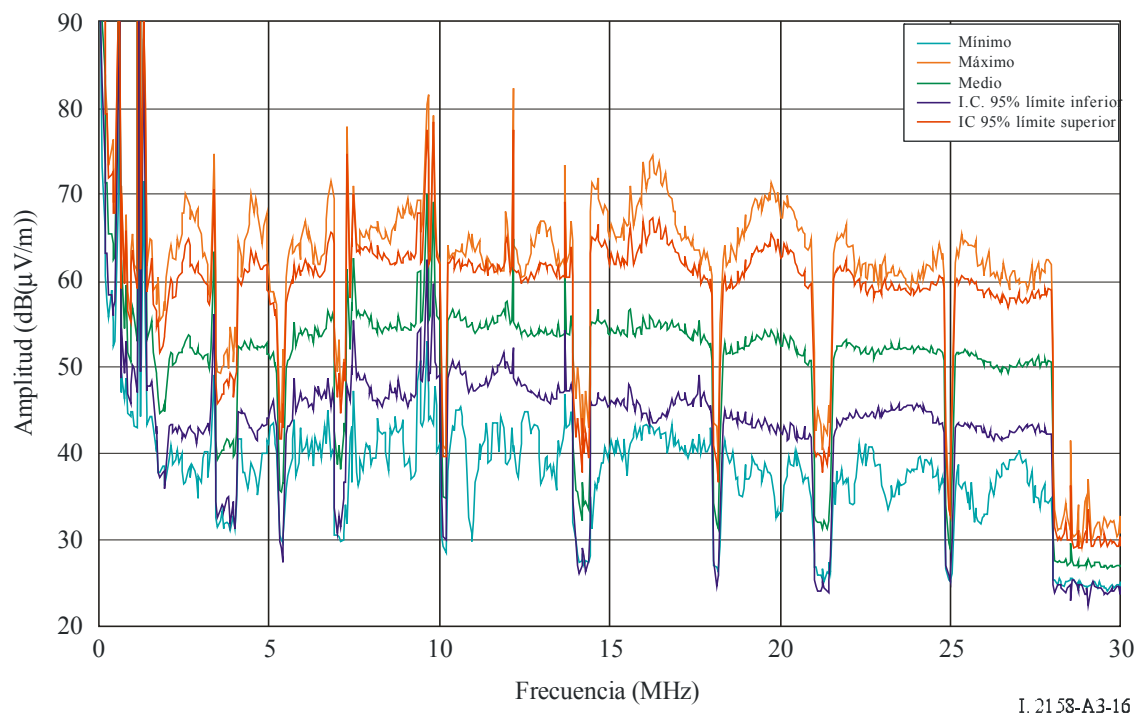
Distribución de intensidad de campo RF, dispositivo PLT 3 (Homeplug AV) a 3 m

FIGURA A3-17

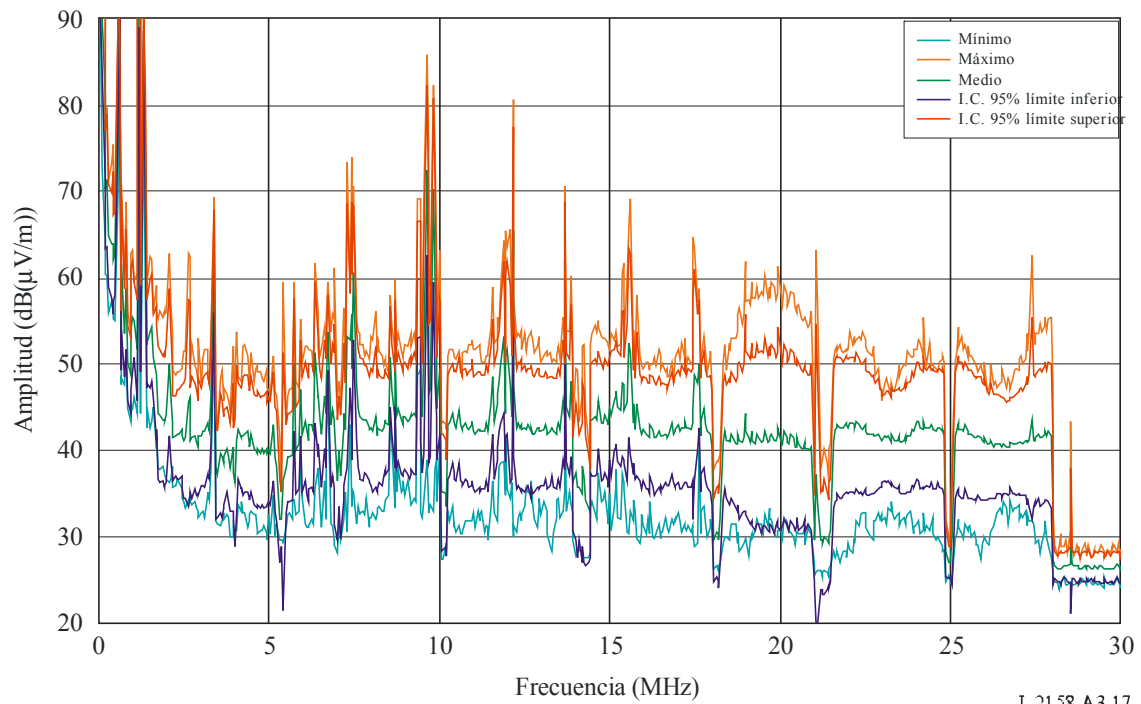
Distribución de intensidad de campo RF, dispositivo PLT 3 (Homeplug AV) a 10 m

FIGURA A3-18

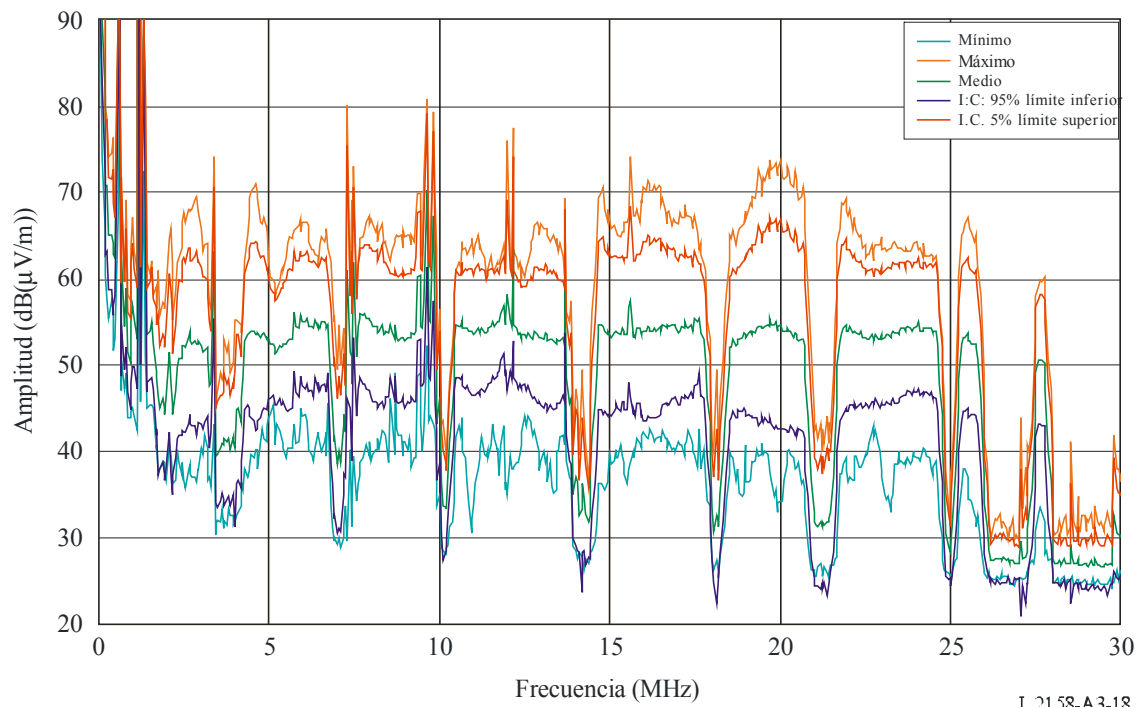
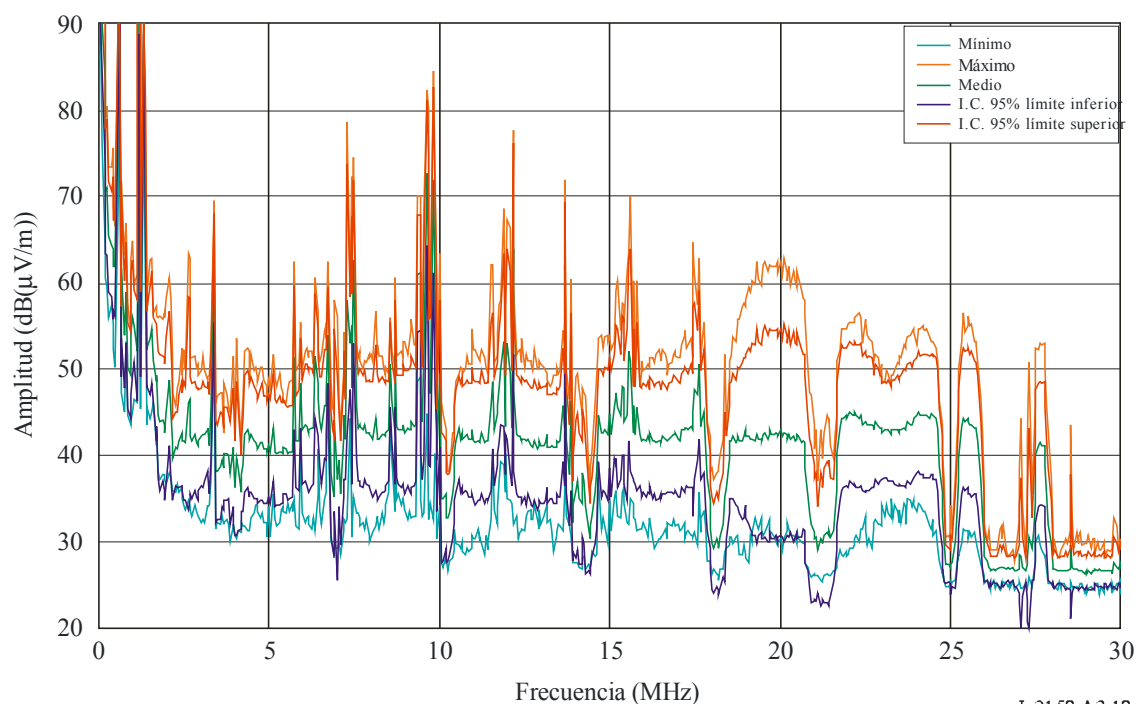
Distribución de intensidad de campo RF, dispositivo PLT 6 (UPA) a 3 m

FIGURA A3-19

Distribución de intensidad de campo RF, dispositivo PLT 6 (UPA) a 10 m



I. 2158-A3-19

A3.2.4 Conclusiones

Los resultados obtenidos en el laboratorio y en el terreno por el CRC muestran que las emisiones máximas de los dispositivos PLT en una casa residencial típica rebasan los niveles de ruido ambiente medios en más de 30 dB y 40 dB a distancias entre 10 y 3 m, respectivamente, con respecto al muro exterior de la casa. A 10 m, las emisiones PLT medias superan el ruido ambiente en unos 5 ó 10 dB. En algunas frecuencias y distancias, los niveles de emisión PLT voluntariamente ranurados son inferiores al ruido ambiente. Por consiguiente, de las observaciones del CRC se desprende que los dispositivos PLT pueden causar interferencia a los servicios de radiocomunicaciones, en particular los que tienen limitaciones de ruido. El servicio de radiodifusión es particularmente vulnerable a la interferencia de los dispositivos PLT. Los factores de planificación del servicio de radiodifusión soportan la recepción a intensidades de campo muy inferiores de las que se pueden conseguir en presencia de emisiones de dispositivos PLT. Por ejemplo, en la Recomendación UIT-R BS.703 se determina la intensidad de campo mínima utilizable para un receptor de radiodifusión en ondas decamétricas medio a 40 dB(μ V/m). Los resultados de las pruebas realizadas por el CRC que aquí se presentan indican que los dispositivos PLT generarán niveles de interferencia entre 20 dB y 30 dB superiores a los niveles de señal que el receptor de radiodifusión en ondas decamétricas está preparado para recibir, en función de la frecuencia, la distancia de separación, la configuración de la antena receptora, etc.

A3.3 Resultados de la prueba de medición de las emisiones radiadas por sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticos en un entorno residencial realizada en Japón

A3.3.1 Introducción

En esta sección se presentan los resultados de las mediciones de emisiones radiadas por sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas domésticos en un entorno residencial realizadas en Japón.

A3.3.2 Método de medición

La medición de las emisiones radiadas por dispositivos PLT domésticos en la zona circundante a la casa se realizó en las siguientes condiciones. En el experimento se utilizaron dos tipos de dispositivos PLT diferentes, es decir, que utilizaban la OFDM y el espectro ensanchado.

a) Equipo de medición

- *Antena*: Antena de bucle calibrada
- *Analizador de espectro*: El analizador de espectro ha de tener las siguientes capacidades de configuración y funcionamiento con batería (véase la Nota 1).

NOTA 1 – En las mediciones realizadas en el terreno, el ruido procedente del cable de alimentación de los equipos de medición o el cable que se utiliza para la medición no se podrá reproducir. Es preferible recurrir al funcionamiento con batería. De no poder utilizarse una batería, el analizador deberá estar alimentado por una fuente independiente y habrá de tenerse en cuenta el posicionamiento del cable de alimentación.

b) Posicionamiento del equipo de medición

- Los puntos de medición se sitúan a 5 m del muro exterior de la casa en 8 direcciones distintas (si, por problemas del terreno o un espacio inferior a 5 metros, no es posible configurar así los puntos, se escogerán como mínimo 4 puntos).
- Distancia de 5 m con respecto al muro exterior de la casa más cercano.
- La antena (borde inferior del bucle) se sitúa a 1 m por encima del nivel del suelo.

c) Gama de frecuencias de medición

- 1 MHz-30 MHz.

d) Configuración del equipo de medición (analizador de espectro)

- RBW = 10 kHz, VBW = 100 kHz, separación = 29 MHz, frecuencia central = 15,5 MHz.
- Punto = cerca de 1 000 puntos, barrido = automático.
- Modo de detección: modo RMS.
- Media: más de 20 veces con el modo detección.

A3.3.3 Condiciones de la comunicación PLT

a) Casa

Escójase una casa típica.

- Describese: construcción de madera/no de madera, casa familiar individual (número de plantas)/apartamento.
- Mídase el sistema PLT que no sea doméstico, mídase el entorno real.

b) Mídanse más de dos trayectos de distribución desde una casa (véase la Fig. A3-21)

- Si la casa tiene más de dos plantas, se recomienda utilizar el trayecto distribuido a la otra planta.

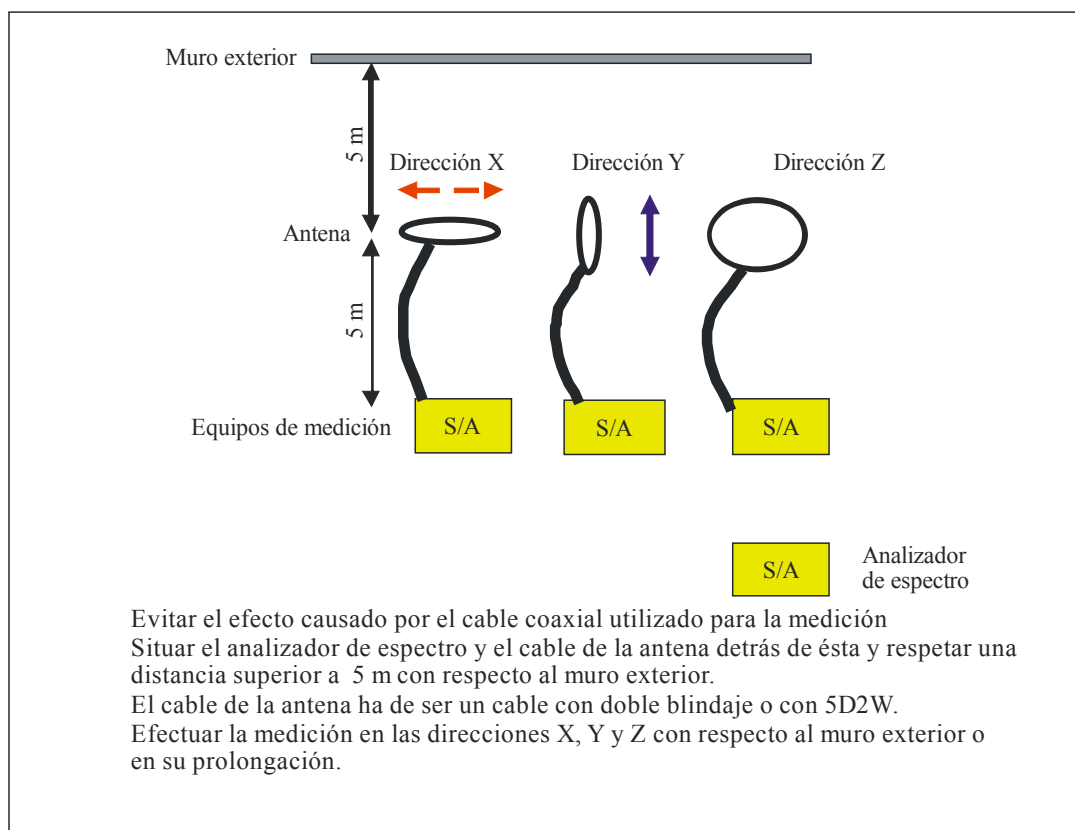
c) Condiciones de la medición

- Condición 1: ausencia de sistema PLT en la casa.
- Condición 2: instálase el sistema PLT y póngase en comunicación a la máxima velocidad con UDP mediante aplicación de software como FTP (unidireccional).

d) Otras condiciones

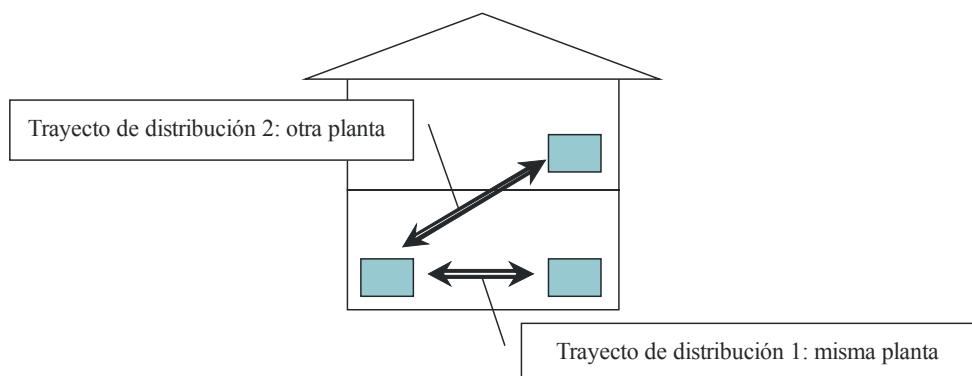
Mídase el ruido del entorno real y verifíquese que no se suprimen otros equipos electrónicos o eléctricos de la casa durante la medición. Verifíquese también que no se encienden/apagan durante la medición.

FIGURA A3-20
Posicionamiento del equipo de medición



I. 2158-A3-20

FIGURA A3-21
Ejemplo de trayecto de distribución



I. 2158-A3-21

A3.3.4 Resultados de la medición

CUADRO A3-3
Condiciones de medición

	Tipo de dispositivos PLT	OFDM	SS
Condiciones de la medición	Clasificación de casa	Construcción de madera	Construcción no de madera
	Apartamento monofamiliar	Casa monofamiliar/ dos plantas	Edificio (escuela, 4 plantas)
	Enchufe CA al que se conecta el sistema PLT	Véase la Fig. A3-22	Véase la Fig. A3-23
	Gama de frecuencias del sistema PLT	4 MHz-28 MHz	4 MHz-20 MHz
	Aplicación del sistema PLT	Consumo	Industrial
Equipos de medición	Analizador de espectro	Agilent E7401A	Agilent E4402B
	Antena de bucle	EMCO 6502	EMCO 6502

En las Figs. A3-24 y A3-25 se muestran los resultados de las mediciones realizadas con el sistema OFDM, y en las Figs. A3-26 y A3-27 los del sistema SS.

En las Figs. A3-24 a A3-27 se ven los resultados en el punto de los ejes X e Y donde se detectaron las emisiones radiadas por los sistemas OFDM y SS. También se muestran los resultados obtenidos en un punto cercano.

Los espectros de impulso son las ondas de radiodifusión o el ruido procedente de los dispositivos electrónicos de consumo, que son observables aun cuando el sistema PLT no está operativo. Los sistemas PLT transmiten continuamente y utilizan la gama de frecuencias 2 MHz-30 MHz (excepto las gamas de frecuencias utilizadas por el servicio de aficionados). Así, la forma espectral de transmisión del sistema PLT no es un impulso y se observa como ruido de gama amplia.

De los resultados de la medición se desprende que la emisión radiada en las direcciones X e Y es diferente, como también lo es la emisión radiada medida en puntos adyacentes.

Como se puede ver, la emisión radiada por el sistema PLT y la línea eléctrica no se transmite en ninguna dirección y tiene características direccionales. Sólo la dirección específica puede ver la emisión radiada.

FIGURA A3-22
Condiciones de la medición (1)

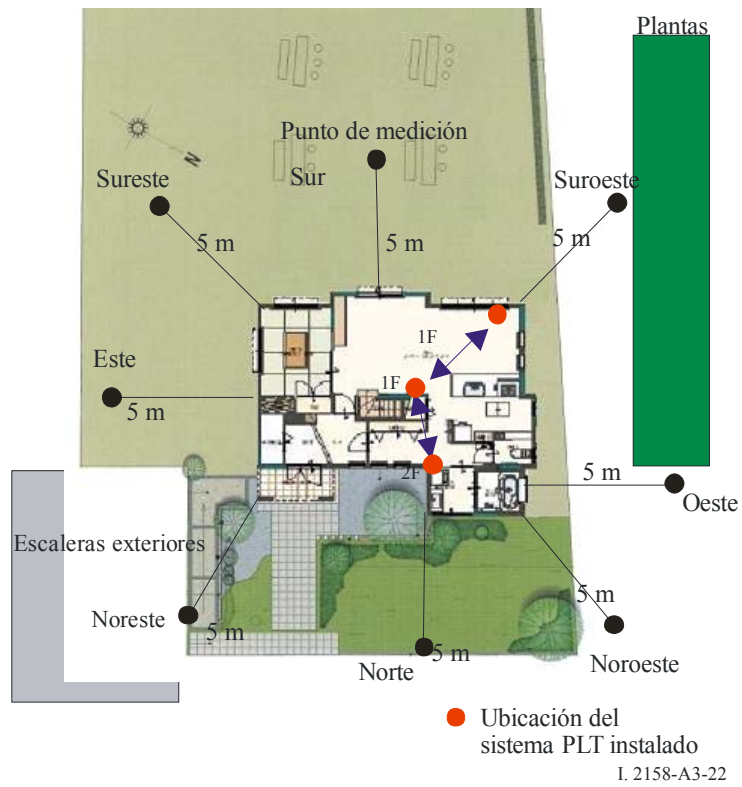


FIGURA A3-23
Condiciones de la medición (2)

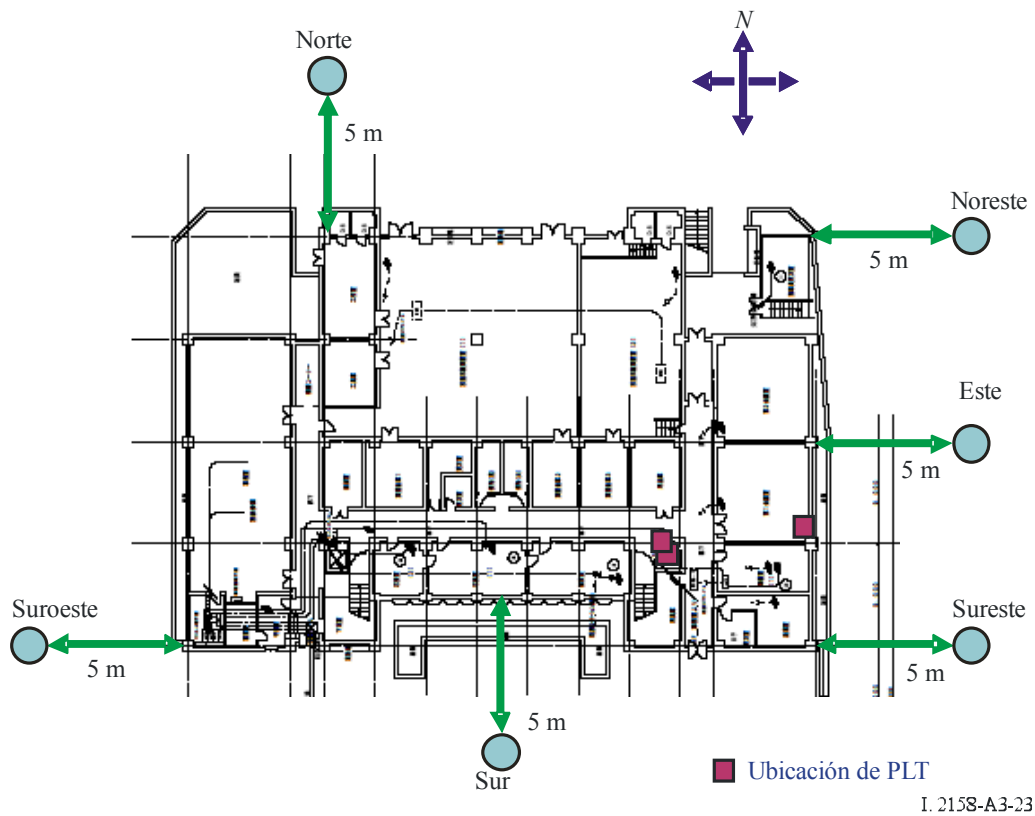


FIGURA A3-24

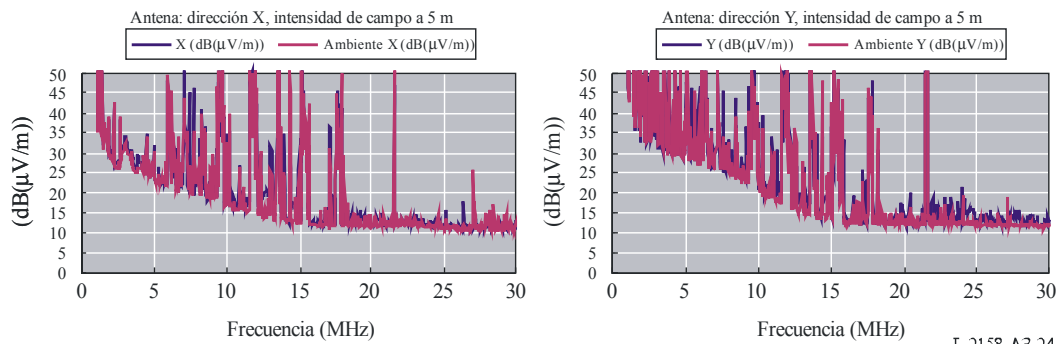
Trayecto de distribución OFDM 2, 5 m al Este

FIGURA A3-25

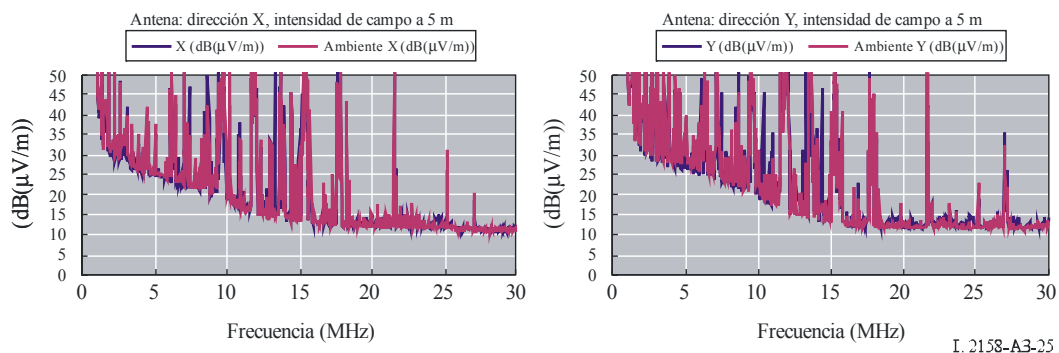
Trayecto de distribución OFDM 2, 5 m al Sureste

FIGURA A3-26

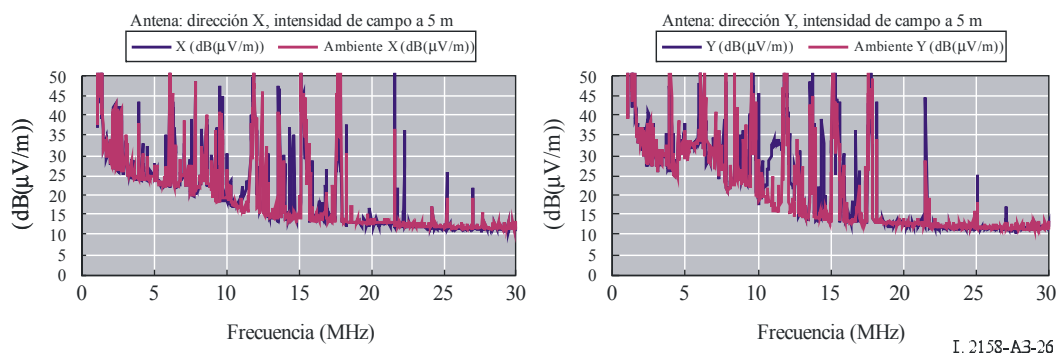
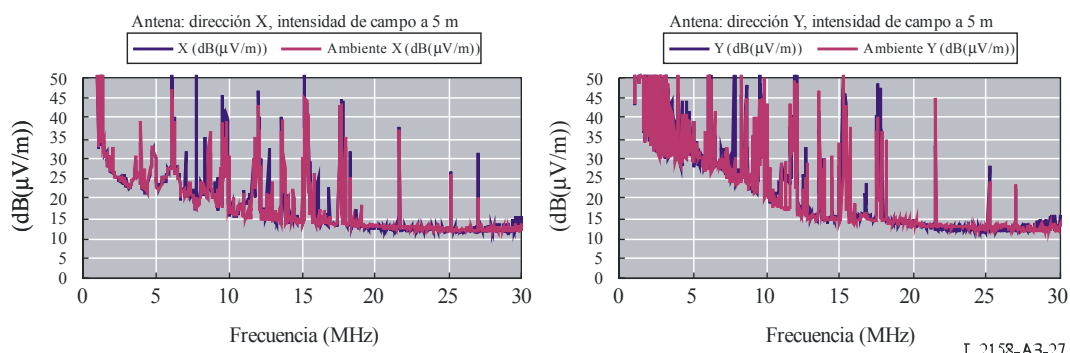
Trayecto de distribución SS 4, 5 m al Noreste

FIGURA A3-27

Trayecto de distribución 4-4 SS 4, 5 m al Norte

A3.4 Resultados de la medición de la fuga de emisiones de sistemas de telecomunicaciones por líneas eléctricas (PLT) en las bandas de ondas decamétricas y decimétricas

A3.4.1 Introducción

En los últimos tiempos se han desarrollado equipos de telecomunicaciones por líneas eléctricas de alta velocidad, que pueden llegar a los ~200 Mbit/s, y se han comercializado sistemas PLT de banda ancha, cuya anchura de banda puede llegar a los 80 MHz. Sin embargo, las líneas de alimentación eléctrica no están diseñadas para las telecomunicaciones, sino para la distribución de electricidad a 50/60 Hz, por lo que pueden emitir un nivel importante de ruido electromagnético. En las bandas de ondas decamétricas y métricas por debajo de 80 MHz, hay muchas estaciones del servicio de radiodifusión, el servicio de aficionados, el servicio aeronáutico, el servicio de radioastronomía, etc. Si los módems PLT, que emplean la gama de frecuencias por debajo de 80 MHz, se utilizan masivamente, una gran porción del espectro de ondas decamétricas/métricas puede quedar inutilizable. La banda de ondas decamétricas también se utiliza para las observaciones científicas necesarias para estudiar el medio ambiente terrestre y los cuerpos astronómicos. Dado que las señales recibidas desde fuentes astronómicas suelen ser muy débiles, los armónicos y/o la intermodulación de las señales PLT deseadas podrían causar un serio daño a las observaciones radioastronómicas sensibles, no sólo en la gama de frecuencias por debajo de 80 MHz, sino también en las bandas superiores, incluidas las bandas de ondas decimétricas.

Los problemas expuestos se estudiaron entre abril y julio de 2002 en el seno del Grupo de Estudio sobre PLT creado por el Ministerio de Asuntos Internos y Comunicaciones (MIC) de Japón. Este grupo creó un Grupo de Trabajo sobre experimentos en el terreno y llevó a cabo experimentos conjuntos sobre las instalaciones PLT. Los días 8-9 y 22-23 de julio de 2002 se realizaron los experimentos en el terreno en el Monte Akagi, Prefectura de Gumma, Japón. En el marco de estos experimentos se midieron las fugas de emisiones causadas por los módems PLT en las bandas de ondas decamétricas y decimétricas a fin de evaluar la repercusión de la expansión de la anchura de banda PLT en las observaciones radioastronómicas, y examinar la presencia de emisiones no esenciales en frecuencias superiores. Se presentan aquí los resultados de los experimentos y se comparan los niveles de ruido PLT con los umbrales de interferencia perjudicial de las observaciones radioastronómicas, como figuran en la Recomendación UIT-R RA.769.

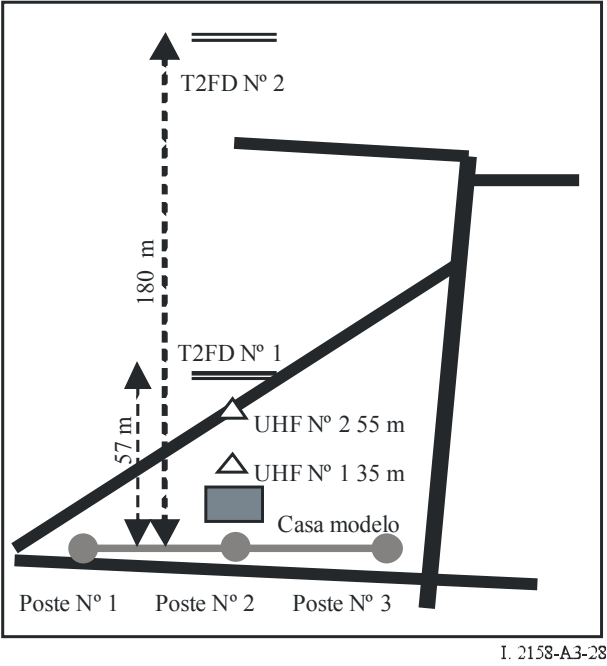
A3.4.2 Experimento realizado en el Monte Akagi, Japón, el 23 de julio de 2002

En la Fig. A3-28 se muestra la configuración del experimento. Se tendieron las líneas eléctricas utilizadas para el experimento entre varios postes eléctricos (postes 1, 2 y 3 de la Fig. A3-28) y una casa modelo. Se utilizaron los dos pares de módems PLT que se indican en el Cuadro A3-4, y se efectuaron las mediciones de las fugas de emisión en las bandas de ondas decamétricas y decimétricas. Los módems PLT y los computadores portátiles se conectaron al exterior de las líneas eléctricas en el poste 2. En las Figs. A3-29 y A3-30 se muestra la potencia de salida de los módems PLT 1/2 y 3/4, respectivamente⁵³.

Cabe señalar que también se prepararon en el emplazamiento de prueba tres pares de módems PLT domésticos, aunque no se utilizaron para las mediciones que aquí se presentan.

⁵³ Apéndice 3 al Informe Técnico del Grupo de Estudio sobre Comunicaciones por Líneas Eléctricas de Alta Velocidad, Ministerio de Asuntos Internos y Comunicaciones (MIC) de Japón, agosto de 2002.

FIGURA A3-28
Plano del emplazamiento de prueba



CUADRO A3-4

Módems PLT de acceso utilizados para los experimentos en el terreno

N.º	Modulación	Gama de frecuencias (MHz)	Potencia nominal de salida (dBm/Hz)	Impedancia nominal de salida (Ω) □	Frecuencia de ranurado (MHz)
1/2	OFDM	4,3-20,9	-50	100 <=	7,000-7,300 10,100-10,150 14,000-14,350 18,068-18,168 21,000-21,450
3/4	SS	4,0-20,0	-50	50 <=	7,000-7,300 9,800-10,300 13,900-14,400 17,850-18,350

FIGURA A3-29

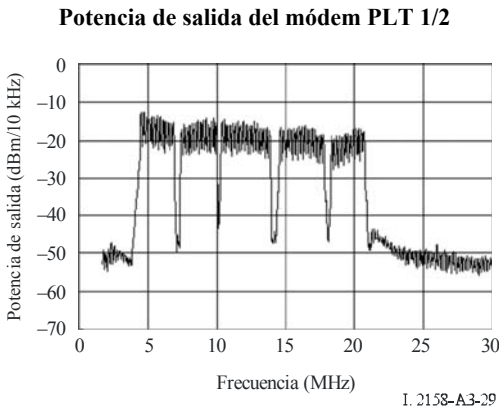
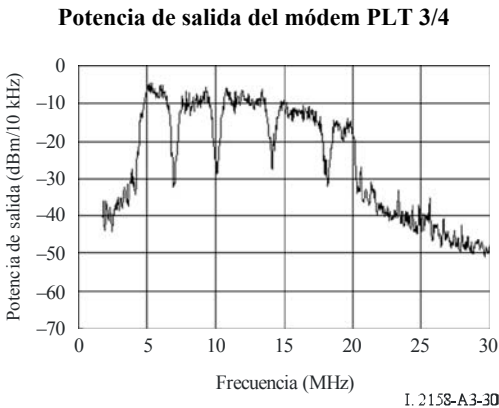


FIGURA A3-30



Para realizar el experimento en la banda de ondas decamétricas, se instalaron dos antenas T2FD equivalentes de 25 m de largo a 57 m y 180 m del poste N.º 2 (T2FD N.º 1 y N.º 2 en la Fig. A3-28, respectivamente). La altura de las antenas desde el suelo es de unos 5 m. Cabe señalar que estas T2FD no son sensibles a la componente con polarización vertical del campo eléctrico, porque se instalaron horizontalmente. Por consiguiente, es posible que las T2FD no hayan recibido la potencia total del ruido PLT. La salida de las antenas T2FD se conectó directamente al analizador de espectro, que midió la potencia eléctrica hasta 30 MHz. Para realizar las mediciones cuantitativas, se obtuvieron 10 trazas espectrales por cada medición de espectro, y se evaluaron las desviaciones de las mediciones.

A fin de examinar las emisiones no esenciales procedentes de las instalaciones PLT, se instalaron una antena log-periódica (Create Design, CLP-5130-1) y un receptor a una distancia de 55 m desde el poste N.º 2 (UHF N.º 2 en la Fig. A3-28), que, en ocasiones, se situaron a 35 m (UHF N.º 1). El receptor estaba formado por un filtro de paso alto, un preamplificador de ruido de bajo nivel y un amplificador de banda ancha. El preamplificador tenía una ganancia de potencia de 40 dB en la frecuencia central de 327 MHz, una anchura de banda alrededor de 20 MHz y un nivel mínimo de ruido de 0,8 dB. El filtro paso alto, cuya frecuencia de corte era 260 MHz, impedía la saturación del preamplificador causada por las fuertes señales de radiodifusión en la gama de ondas métricas. Los analizadores de espectro midieron el espectro alrededor de 327 MHz y automáticamente registraron los datos en un computador personal a través de una interfaz GPIB. A fin de verificar que las emisiones no esenciales efectivamente tenían su origen en la instalación PLT, se midieron simultáneamente los espectros de ondas decamétricas y se examinaron las dependencias de las emisiones no esenciales en la distancia y la dirección de la instalación PLT.

A3.4.3 Fuga de emisiones en la banda de ondas decamétricas

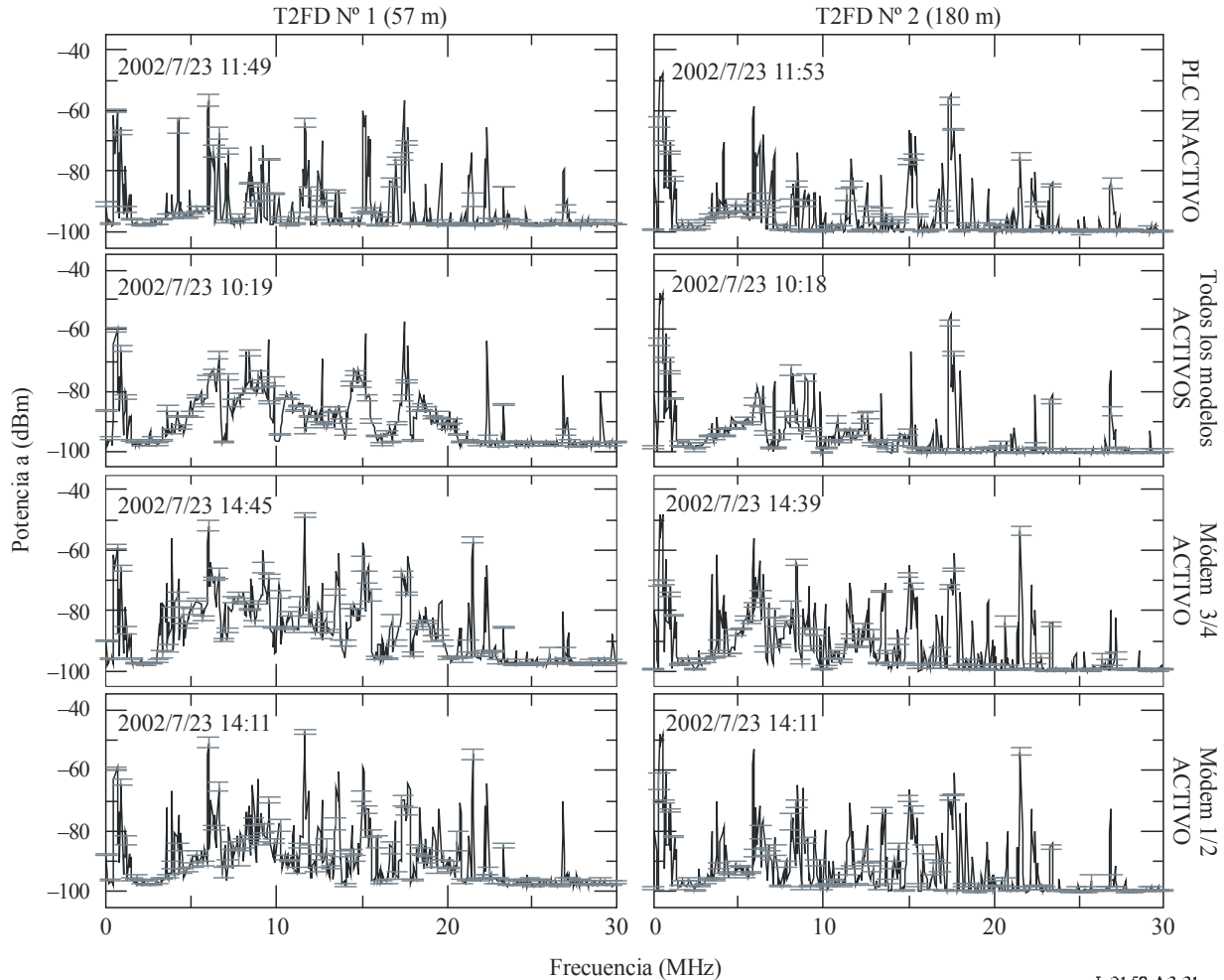
En la Fig. A3-31 se muestran los resultados de las mediciones espectrales realizadas en la banda de ondas decamétricas. Cuando los módems PLT estaban inactivos, se constató la presencia de muchas señales de radiodifusión sobre un ruido de fondo base, que representaba el nivel de ruido del analizador de espectro. Una vez encendidos los módems, el nivel de ruido de fondo aumentó significativamente en la gama de frecuencias 4 MHz-20 MHz. En las frecuencias alrededor de 7, 10, 14 y 18 MHz, que eran las frecuencias ranuradas de los módems (véase el Cuadro A3-4), se vieron caídas estrechas del aumento del ruido de fondo. Estas características indican que el incremento del ruido de fondo estaba causado por los módems PLT. Tanto el módem OFDM (N.º 1/2) como el módem SS (N.º 3/4) produjeron amplios incrementos del ruido de fondo, y el nivel de ruido causado por el módem SS era unos 5 dB superior al del módem OFDM. Como se ve en la Fig. A3-31, muchas señales de radiodifusión sufrieron interferencia, y algunas de ellas quedaron totalmente enmascaradas por el ruido PLT.

FIGURA A3-31

Espectro de ondas decamétricas medido por las T2FD N.º 1 (izquierda) y N.º 2 (derecha)

Cuando el sistema PLT estaba inactivo (gráficos superiores), todos los módems estaban encendidos (segundos gráficos), sólo el módem 3/4 estaba en funcionamiento (terceros gráficos) y sólo el módem 1/2 estaba en funcionamiento (gráficos inferiores).

Las barras de error representan la desviación normalizada



I. 2158-A3-31

Se examinó la dependencia en la distancia del nivel de ruido PLT asumiendo que la fuga de campo eléctrico, E , es proporcional al exponencial de la distancia, r , es decir:

$$E \propto r^{-\alpha} \quad (\text{A3-1})$$

donde α es el coeficiente de atenuación. Los coeficientes se calcularon a partir de las mediciones realizadas con las dos antenas T2FD. Los coeficientes calculados se repartieron en función de la frecuencia, pero su distribución ronda el 1,0.

Para evaluar cuantitativamente el nivel de fuga de emisión, se calibraron las antenas T2FD. Justo debajo de la antena T2FD se instaló una antena de bucle normalizada (Anritsu MP414B) y se midieron las intensidades de campo eléctrico de algunas frecuencias de radiodifusión simultáneamente. El factor de antena, K , de la T2FD se calculó así:

$$K = E/V \quad (\text{A3-2})$$

donde V (μV) y E ($\mu\text{V/m}$) representan la salida de la antena T2FD y la antena de bucle normalizada, respectivamente. Por ejemplo, se calculó que el factor de antena de la antena T2FD en la frecuencia 9,6 MHz era $-8,0 \pm 2,5$ dB. También se analizó la antena T2FD de acuerdo con el método instantáneo y se calculó que la ganancia de antena, G_a , era 2,3 dBi a 9,6 MHz. El factor de antena también se deriva de la ganancia de antena con la fórmula:

$$K = \sqrt{\frac{4\pi\eta_0}{Z_0 G_0 \lambda^2}} \quad (\text{A3-3})$$

donde η_0 es la impedancia de onda y es igual a 120π , Z_0 es 50Ω , y λ es la longitud de onda. Utilizando la ecuación 3 y considerando una pérdida de transmisión por el cable coaxial de 0,8 dB, se calculó que el factor de antena era de $-5,8$ dB, lo que es coherente con la estimación obtenida con la calibración.

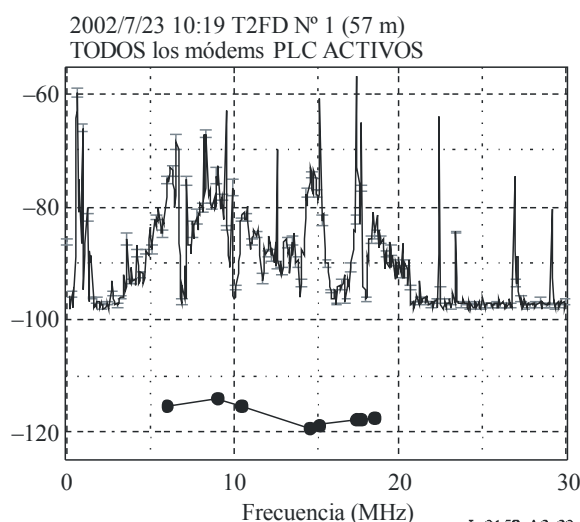
En la Fig. A3-32 se puede ver una comparación entre el ruido PLT y el nivel galáctico, calculado de acuerdo con los espectros galácticos conocidos⁵⁴ y los factores de antena calibrados. El ruido PLT rebasó el nivel de ruido galáctico en más de 30 dB.

A3.4.4 Emisiones no esenciales en la banda de ondas decimétricas

La banda de ondas decimétricas es una ventana atmosférica para las observaciones de radioastronomía y es posible realizar mediciones muy sensibles de fuentes de radiación débiles. Aunque los módems PLT de banda ancha no utilizan una banda de frecuencias tan alta, es necesario examinar los niveles de emisiones no esenciales procedentes de los módems PLT.

FIGURA A3-32

Espectro de ondas decimétricas medido por la T2FD N.º 1 cuando todos los módems PLT estaban en funcionamiento (línea superior) y estimación del nivel de emisiones galácticas (línea inferior)



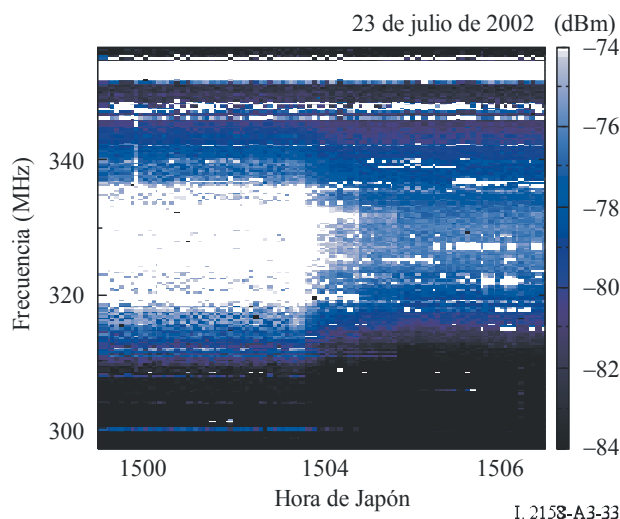
⁵⁴ ALEXANDER J.K., BROWN L.W., CLARK T.A., STONE R.G., y WEBER R.R. [1969] The Spectrum of the Cosmic Radio Background between 0.4 and 6.5 MHz. *Astrophys. J.*, 157, L163.

En la Fig. A3-33 se muestra un espectro dinámico en la gama de frecuencias 297 MHz-357 MHz durante el funcionamiento del módem PLT 3/4. Cuando los módems se desactivaron a las 15.04 horas, se puede ver claramente que desaparecen el ruido en banda ancha y algunas emisiones en banda estrecha. Dicho de otro modo, se observan claramente las emisiones no esenciales procedentes de los módems PLT.

No hay una causa evidente para las emisiones no esenciales generadas por los módems sometidos a la prueba. Será necesario realizar más estudios para investigar la producción de armónicos y/o productos de intermodulación en los módems PLT. Además, cuando los módems PLT utilicen el ranurado, la presencia de elementos no lineales en los cables eléctricos puede hacer que se generen productos de intermodulación y se rellenen las ranuras.

FIGURA A3-33

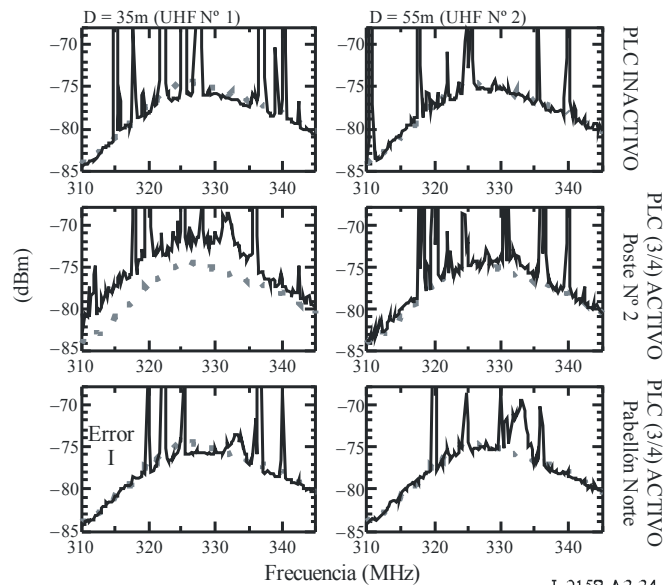
**Espectro dinámico alrededor de 327 MHz
Al desactivarse el módem 3/4 a las 15.04 horas,
desaparecieron el ruido en banda ancha y
algunas misiones en banda estrecha**



I. 2158-A3-33

En la Fig. A3-34 se muestra la dependencia del nivel de emisiones no esenciales en la distancia y la dirección de la antena log-periódica con respecto a la instalación PLT. Cuando todos los módems PLT estaban inactivos o la antena no estaba dirigida a la instalación PLT, no se detectaron emisiones no esenciales. Por el contrario, se recibieron fuertes emisiones no esenciales cuando la antena se situó cerca de la instalación PLT y estaba dirigida hacia ella. En la posición de UHF N.º 1, el incremento del ruido de fondo alcanzó los 4 dB. Estos resultados indican la presencia de emisiones no esenciales procedentes de los módems PLT en la banda de ondas decimétricas.

FIGURA A3-34



I. 2158-A3-34

También se evaluó la dependencia en la distancia del nivel de ruido PLT en la banda de ondas decimétricas. Utilizando la ecuación 1, se calculó el coeficiente de atenuación a 1,3, lo que se acerca, aunque es algo superior, al valor de campo lejano.

La dependencia en la distancia de las emisiones no esenciales y la dirección de la antena log-periódica con respecto a la instalación PLT de 35 m (izquierda) y 55 m (derecha). Arriba: módems PLT inactivos. Medio: módems PLT 3/4 en funcionamiento y antena dirigida al poste N.º 2. Abajo: igual que el medio, pero con la antena orientada en dirección opuesta. En cada gráfico, las líneas continuas son el espectro medio alrededor de la frecuencia 327 MHz y las líneas grises discontinuas muestran el espectro donde termina la entrada del receptor. También se identificaron algunos ruidos ambientales no relacionados con la PLT como emisiones en banda estrecha, que se recibieron cuando los módems PLT estaban inactivos y la antena dirigida hacia el Norte. La barra de error típico de la medición se indica en el gráfico inferior izquierdo.

A3.4.5 Comparación del nivel de ruido PLT con la Recomendación UIT-R RA.769 a 327 MHz

En la Recomendación UIT-R RA.769 se indican los umbrales de interferencia perjudicial del servicio de radioastronomía. A 327 MHz se estimaron los niveles de emisiones no esenciales procedentes de la instalación PLT en ambas frecuencias y se compararon con los niveles umbral. La banda alrededor de 327 MHz está atribuida al servicio de radioastronomía a título primario, y el umbral de interferencia perjudicial para las observaciones de radioastronomía es de $-258 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$ de acuerdo con la Recomendación UIT-R RA.769. Como se ve en la Fig. A3-34, los niveles de ruido en UHF N.º 1 alrededor de 327 MHz eran de $-72,1 \text{ dBm}$, cuando el módem PLT 3/4 estaba operativo, y de $-75,9 \text{ dBm}$, cuando ambos estaban inactivos. Considerando que la ganancia del sistema es de 51,2 dB, la anchura de banda medida de 100 kHz y la ganancia de la antena de 12 dBi, la densidad de flujo espectral de potencia de las emisiones no esenciales se estimó en $-206 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$. Aplicando el coeficiente de atenuación de campo lejano de 1,0, la distancia de separación necesaria para proteger los observatorios radioastronómicos se estimó en unos 12 km (véase el Cuadro A3-5).

CUADRO A3-5

Distancia de separación para proteger el SRA de la PLT a 327 MHz

Frecuencia (MHz)	327
Umbral ($\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$)	-258
Emisiones no esenciales PLT ($\text{dB}(\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{Hz}))$)	-206
Distancia del poste N.º 2 (m)	35
Distancia de separación (km)	12

Estaba previsto realizar los mismos cálculos a 13 5 MHz, pero los niveles de fuga de emisiones medidos a 180 m (T2FD N.º 2) se acercaban demasiado al ruido de fondo para poder elaborar un cálculo fiable.

A3.4.6 Conclusiones

Las mediciones espectrales en la banda de ondas decamétricas muestran que los niveles de ruido de fondo se incrementaron drásticamente a causa de los módems PLT de acceso. Se vio que los niveles de fuga de emisiones eran mucho mayores que los de las señales radioastronómicas. De los experimentos realizados en la banda de ondas decimétricas se desprende que las emisiones no esenciales se generaron en los módems PLT. En ambas bandas de frecuencias, la fuga de emisiones procedente de los módems PLT era muy superior al umbral de interferencia perjudicial del SRA de la Recomendación UIT-R RA.769. La distancia de separación a 327 MHz adecuada para proteger a los observatorios radioastronómicos contra las emisiones no esenciales causadas por un único par de módems PLT de acceso se ha estimado en 12 km. De implantarse masivamente los módems PLT de acceso, la fuga combinada de emisiones se incrementaría aún más y la distancia de separación sería mucho más grande.

A fin de establecer unos límites para la potencia de salida de los módems PLT, estos estudios demuestran claramente que la fuga de emisiones de los módems PLT con una densidad espectral de potencia de -50 dBm/Hz elevan enormemente el nivel de ruido ambiente y pueden causar graves interferencias. Un límite efectivo factible habría de tener en cuenta factores tales como el efecto acumulado de múltiples unidades PLT, la distancia y los trayectos de propagación hacia posibles receptores víctimas, además de las características de los sistemas de distribución eléctrica reales.

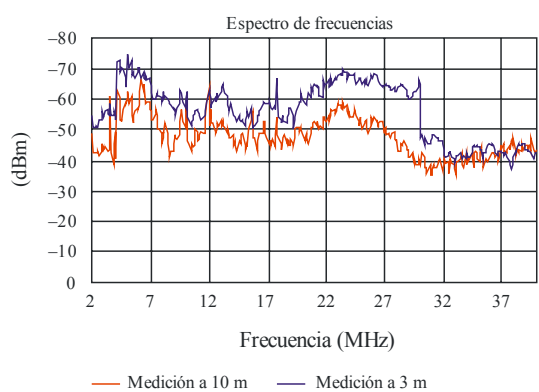
A3.5 Medición de la distancia de separación**A3.5.1 Medición de la distancia de separación en Brasil**

La relación entre la intensidad de campo y la distancia se ha estudiado para definir tanto el tamaño de la zona de exclusión necesaria para la protección de las estaciones de ondas decamétricas contra la interferencia PLT como el factor de extrapolación que se ha de utilizar en las mediciones. En la Fig. A3-35 se muestra la intensidad de campo medida a una distancia horizontal de 3 m y 10 m.

Al aumentar la distancia, la intensidad de campo medida se reduce de media 11,7 dB en las frecuencias comprendidas entre 4 MHz y 30 MHz.

Los resultados demuestran que un factor de extrapolación de 40 dB/década es una buena primera aproximación, pues la reducción de la intensidad de campo calculada media es de 9,47 dB (diferencia de 2,3 dB) para la atenuación en la línea de visibilidad.

FIGURA A3-35

Mediciones a 10 m y 3 m

I. 2158-A3-35

A3.5.2 Medición de la distancia de separación en Canadá

La relación de la intensidad de campo RF entre 3 m y 10 m fue el objeto de un estudio del Centro de Investigación de Comunicaciones de Canadá a fin de entender la pérdida de propagación en las frecuencias que utilizan los dispositivos PLT. Es posible derivar teóricamente la relación de la intensidad de campo entre 3 m y 10 m a partir de la ecuación de pérdida de propagación en el espacio libre. Dado que es una relación, la ecuación puede simplificarse así:

$$\text{Relación de intensidad de campo}_{(\text{dB})} = 20 \log\left(\frac{10 \text{ m}}{3 \text{ m}}\right) \approx 10,5 \text{ dB}$$

Esta ecuación supone un factor de extrapolación de 20 dB por década de distancia para la propagación en el espacio libre. Por consiguiente, teóricamente debería haber 10,5 dB más de potencia a tres metros que a diez metros de las casas.

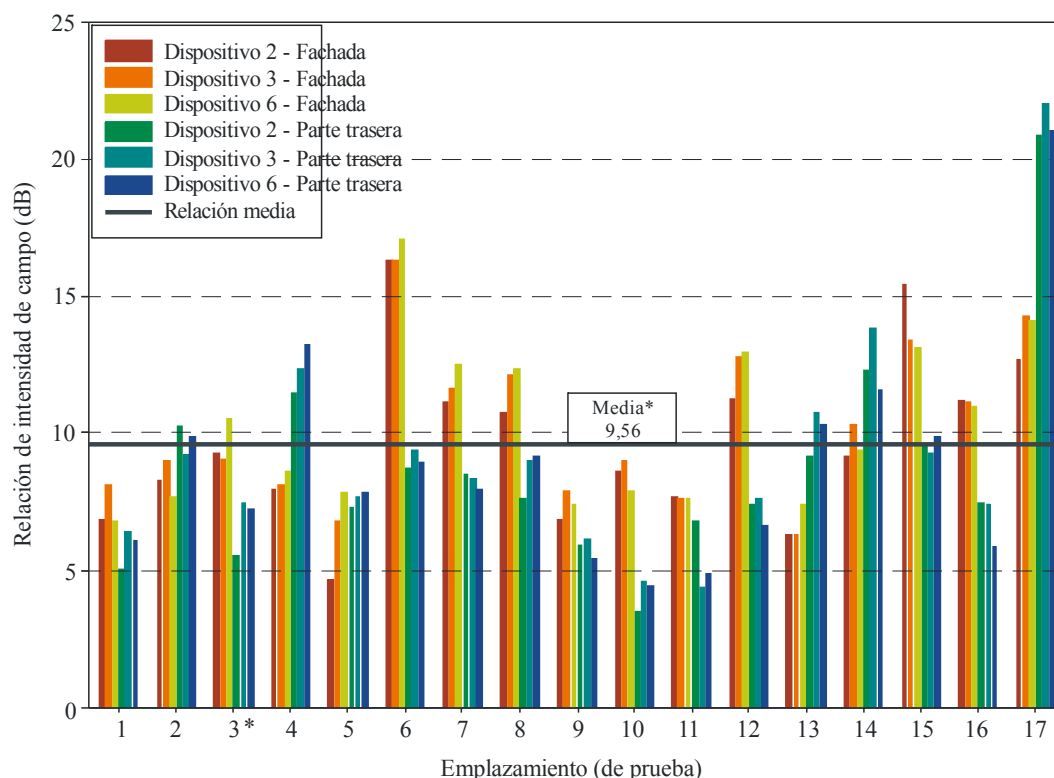
En la Fig. A3-36 se muestra la relación de intensidad de campo entre 3 m y 10 m de cada uno de los dispositivos en el emplazamiento de prueba. Para reducir el efecto del ruido ambiente, los cálculos se realizaron únicamente entre 16 MHz y 28 MHz. La relación de intensidad de campo media de todos los dispositivos y emplazamientos de prueba es de 9,56 dB, 1 dB por debajo del valor teórico. De acuerdo con estos resultados, el factor de extrapolación aplicado realmente es de 18,2 dB por década de distancia.

A3.5.3 Medición de la dependencia en la distancia de las fugas de campos eléctricos causadas por sistemas PLT domésticos en Japón**A3.5.3.1 Introducción**

Conocer la dependencia en la distancia (reducción del campo eléctrico en función de la distancia con respecto a una casa donde hay módems PLT domésticos operativos) es importante para estudiar y derivar las condiciones de compatibilidad conducentes a la coexistencia de los sistemas de radiocomunicaciones conformes con el Reglamento de Radiocomunicaciones y los sistemas PLT. Con este objetivo se realizó este estudio para medir las fugas de campos eléctricos a distancias de 5, 10 y 30 m con respecto al muro exterior de una casa donde había un sistema PLT doméstico operativo. Se ha conseguido así derivar la dependencia en la distancia de la intensidad de campo como una función de la distancia y la longitud de onda.

FIGURA A3-36

Relación de intensidad de campo a 3 m y 10 m en cada emplazamiento de prueba



* El emplazamiento 3 se muestra en el gráfico, pero no se tuvo en cuenta para el cálculo de la media a causa de la interferencia causada por la PLT en una casa adyacente.

I. 2158-A3-36

A3.5.3.2 Medición⁵⁵

Las mediciones se realizaron en un entorno rural real utilizando la casa de madera de una sola planta que se muestra en la Fig. A3-37. Las coordenadas de la casa son 37° 42' N y 140° 40' E. Se trata de una zona montañosa distante. Aunque la casa está rodeada de bosque, los flancos Oeste, Sur y Sureste de la casa están suficientemente despejados.

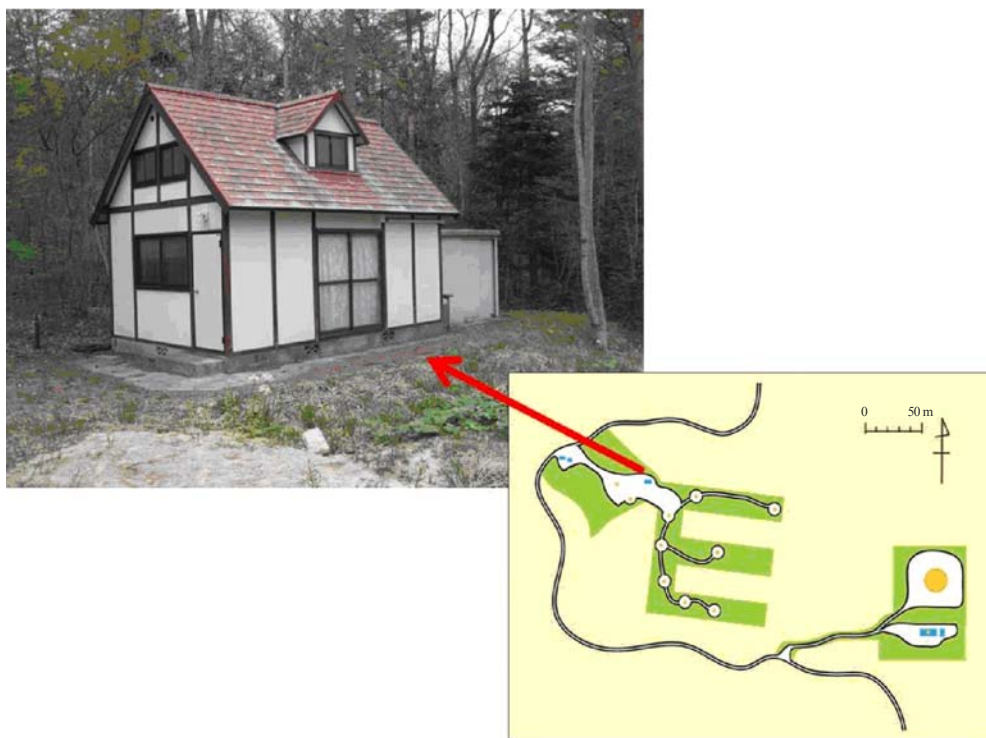
Para medir las fugas de campos eléctricos, se situaron puntos de medición a 5, 10 y 30 m del muro exterior de la casa en dirección Oeste, Sur y Sureste. Se utilizó una antena de bucle pasiva (ETS-Lindgren 6512; 60 cm ϕ) a una altura de 1 m (extremo inferior). A la salida de la antena se conectó un analizador de espectro (NEC SpeCAT2) para medir el espectro entre 2 MHz y 26 MHz a intervalos de 8 kHz, con una anchura de banda de resolución de 8 kHz. Las mediciones se efectuaron en modo rms y se registraron en MAXHOLD. Dado que las fugas de campos eléctricos tienen tres componentes independientes (direcciones x, y, z), se midieron las tres en cada uno de los puntos de medición, y a continuación se sintetizaron en una intensidad de campo eléctrica total.

⁵⁵ OHISHI, M., KITAGAWA, M., MISAWA, H. y TSUCHIYA, F. [septiembre de 2009] Leaked emissions due to the in-house broadband power line communications (1) – Measurement of the electric field strength at a distance and direct measurements of the common-mode current-. IEIEC Tech. Rep., EMCJ2009-40.

También se midió la corriente común dentro de la casa. Al estar las líneas de alimentación de la casa expuestas por el muro interno, fue posible medir la corriente común en varios puntos de la línea utilizando una sonda de corriente. La potencia de salida de la sonda se midió con el mismo analizador de espectro utilizado para las mediciones en el terreno, en las mismas frecuencias, puntos de medición, resolución de frecuencia y modo de medición. A continuación se derivó la corriente común de la salida de la sonda de corriente. Las corrientes diferencial y común de los módems PLT se midieron con el mismo procedimiento.

FIGURA A3-37

Casa utilizada para la medición y plano de situación



I. 2158-A3-37

En el Cuadro A3-6 se muestran los detalles de los módems PLT domésticos utilizados, que se comercializan en Japón. Un par de módems PLT se conectó a los enchufes de la casa. Cada uno de ellos estaba conectado a un computador personal. Los datos se transmitieron mediante el envío de un gran fichero de un computador a otro utilizando los módems PLT. Durante la transferencia del fichero se midieron la intensidad de las fugas de campos eléctricos y las corrientes. Para medir el ruido ambiente, se desenchufaron los módems PLT de los enchufes.

CUADRO A3-6

Módems PLT utilizados para la medición

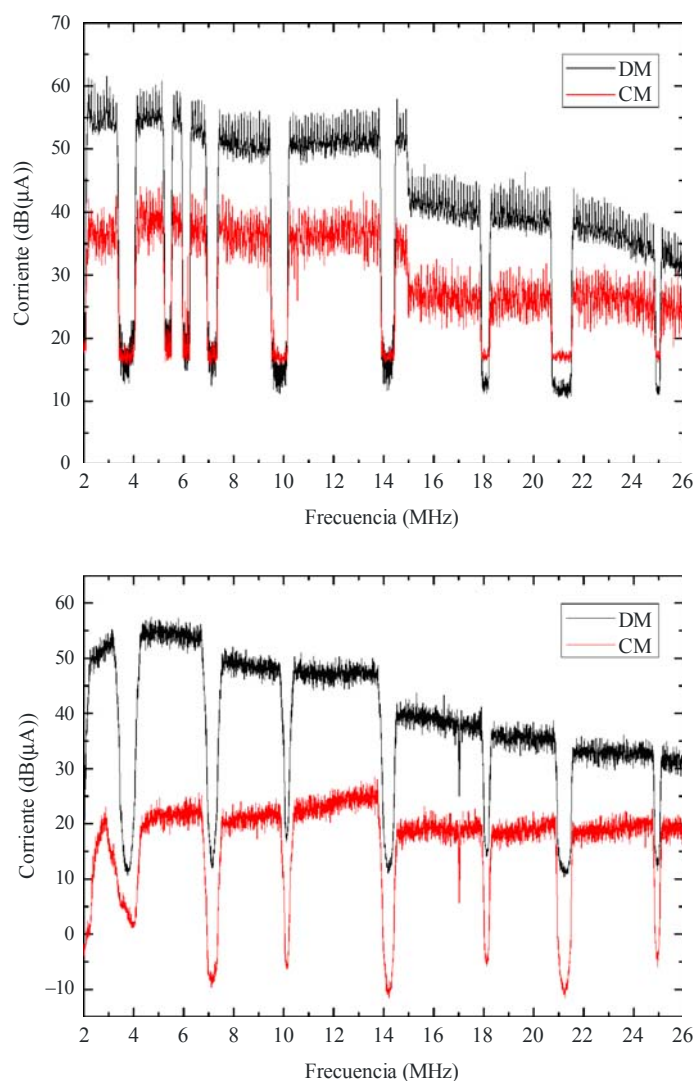
Norma PLT	Gama de frecuencias (MHz)	Velocidad de datos (capa PHY) (Mbit/s)
HD-PLC	2-28	210
UPA	2-30	200

A3.5.3.3 Datos de la medición

En la Fig. A3-38 se muestran las corrientes diferencial y común inmediatamente después del puerto de salida PLT. Un módem PLT inyecta la corriente diferencial en la línea de alimentación para la transferencia de los datos y una fracción de esta corriente diferencial se convertirá en corriente común en los elementos desequilibrados que se encuentran distribuidos por la línea eléctrica. El grado de conversión depende de los elementos desequilibrados. Las corrientes comunes que se muestran en la Fig. A3-38 no son las corrientes comunes convertidas, sino las generadas por el módem PLT (corriente común inyectada o expedida).

FIGURA A3-38

**Corriente diferencial (DM) y corriente común (CM)
del módem HD-PLC (gráfico superior)
y el módem UPA (gráfico inferior)**

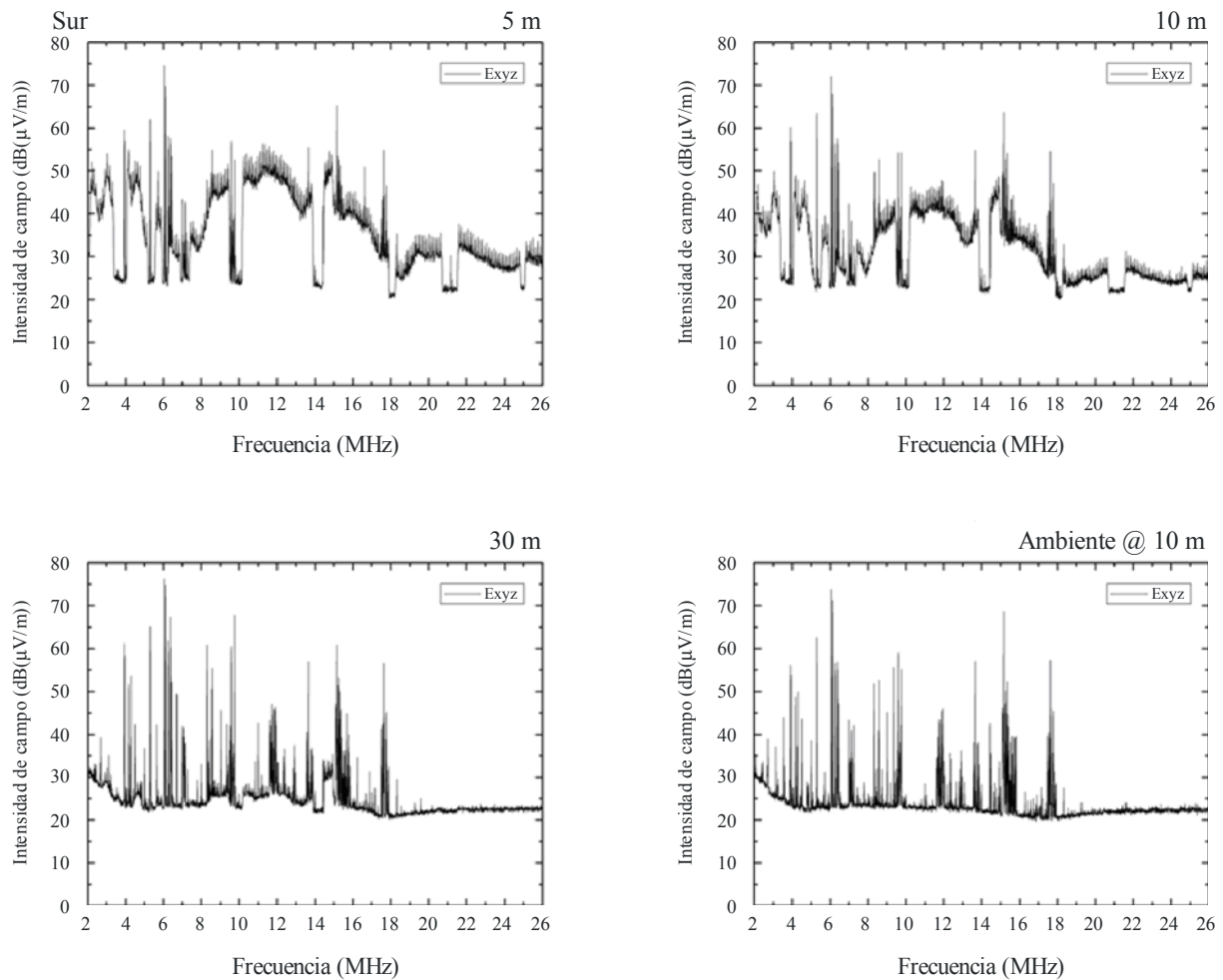


I. 2158-A3-38

En las Figs. A3-39 a A3-41 se muestra la intensidad de la fuga de campo eléctrico del módem HD-PLC hacia el Sur, el Sureste y el Oeste, respectivamente.

FIGURA A3-39

**Intensidad de campo de fuga eléctrica (dB(μ V/m))
del módem HDPLC hacia el Sur**



I. 2158-A3-39

FIGURA A3-40
Intensidad de campo de fuga eléctrica (dB(μV/m))
del módem HDPLC hacia el Sureste

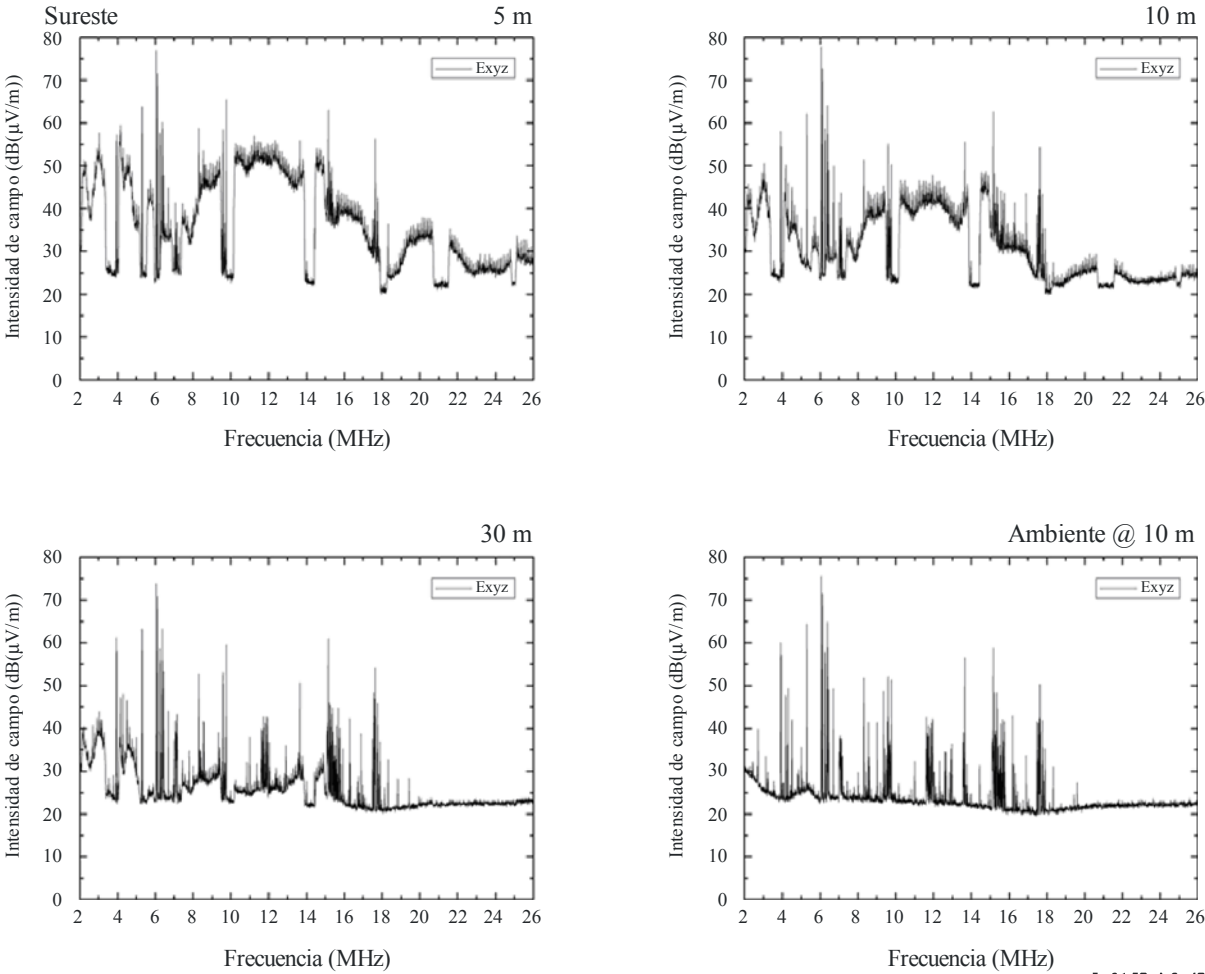
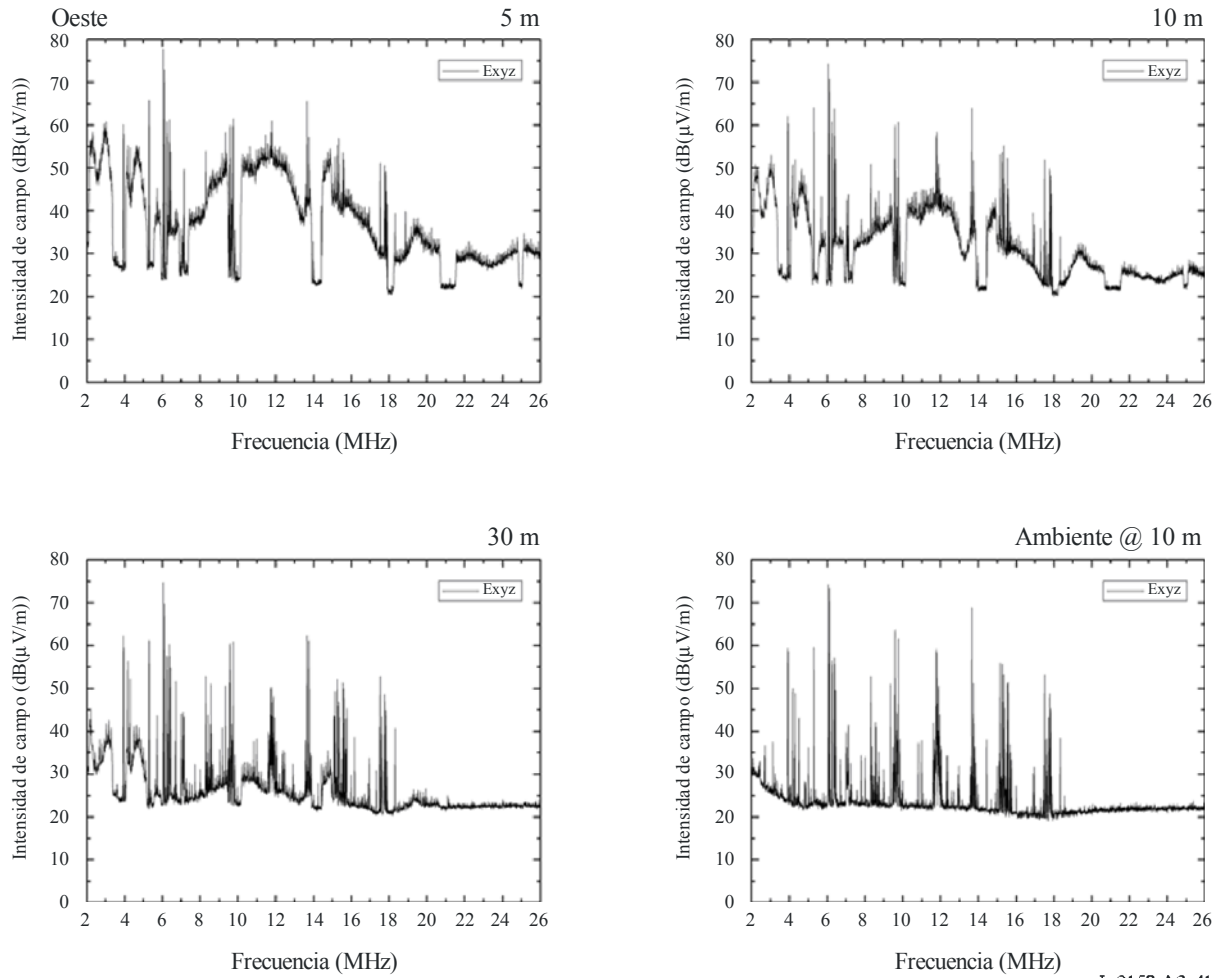


FIGURA A3-41

**Intensidad de campo de fuga eléctrica (dB(μ V/m))
del módem HDPLC hacia el Oeste**



I. 2158-A3-41

En las Figs. A3-42 a A3-44 se muestra la intensidad de campo de fuga eléctrica del módem UPA hacia el Sur, el Sureste y el Oeste, respectivamente. Cabe señalar que no fue posible incluir los datos de campo eléctrico a 5 m hacia el Sur debido a un error de medición.

FIGURA A3-42
Intensidad de campo de fuga eléctrica (dB(μV/m))
del módem UPA hacia el Sur

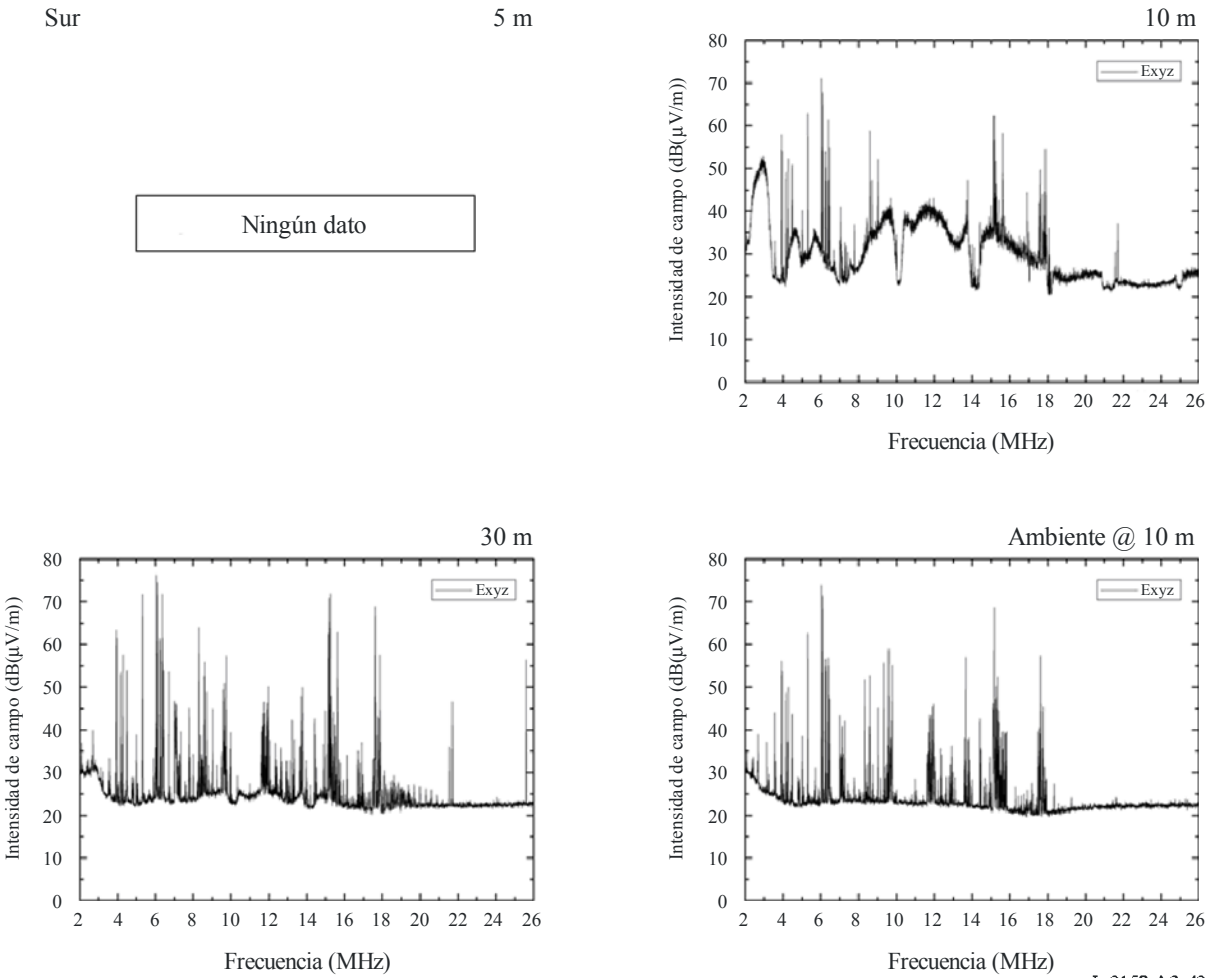
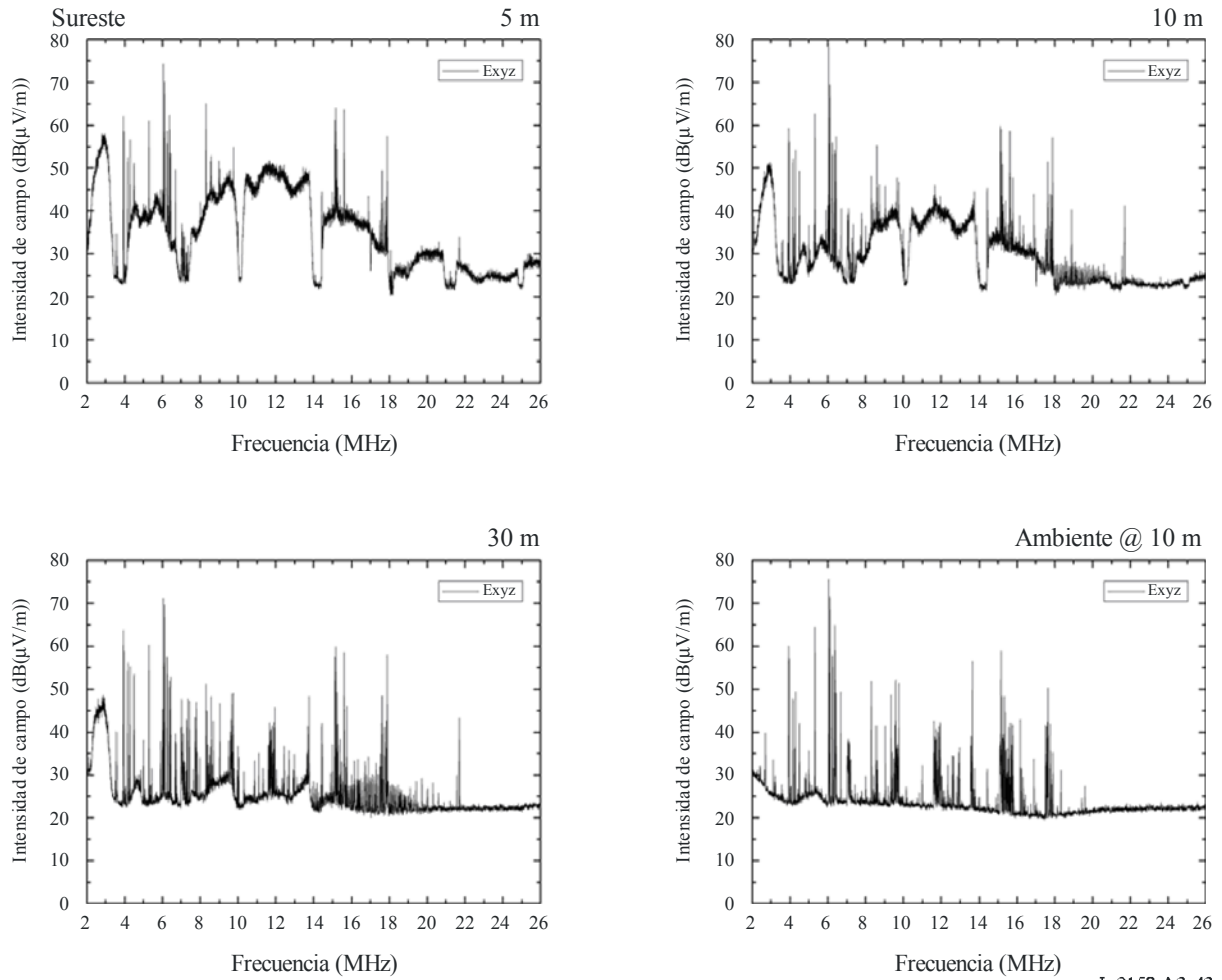


FIGURA A3-43

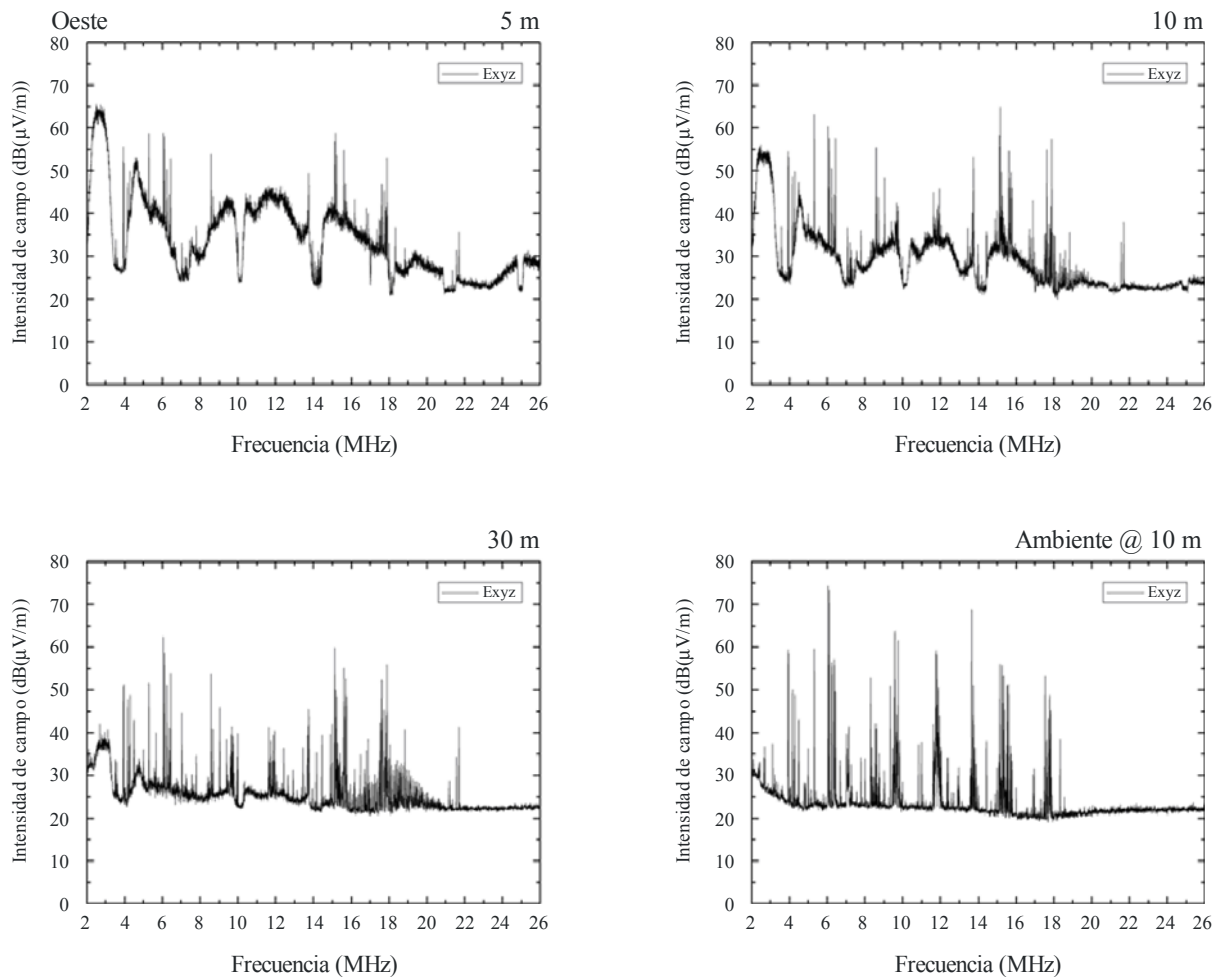
**Intensidad de campo de fuga eléctrica (dB(μ V/m))
del módem UPA hacia el Sureste**



I. 2158-A3-43

FIGURA A3-44

**Intensidad de campo eléctrica de fuga ($\text{dB}(\mu\text{V/m})$)
del módem UPA hacia el Oeste**



I. 2158-A3-44

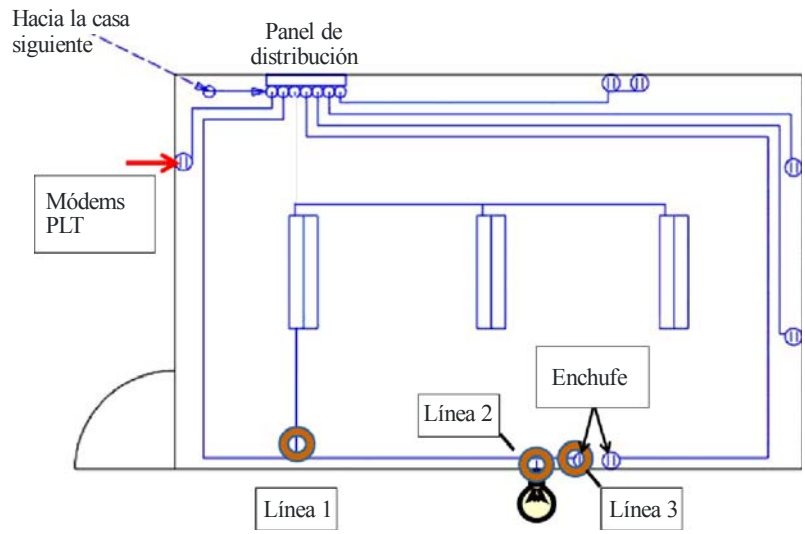
En la Fig. A3-45 se muestra la distribución de la línea eléctrica doméstica utilizada para la medición, además de los puntos en que se realizaron las mediciones directas de la corriente común. La planta de la casa tiene una dimensión de $5,4 \times 3,6$ m. La red de distribución eléctrica es simple, y la mayoría de líneas están tendidas horizontalmente desde el conmutador. Para la medición se escogieron tres puntos:

- línea 1 es un punto en que la línea eléctrica se deriva en dos;
- línea 2 es otra derivación a la que está conectada una lámpara; y
- línea 3 es un punto cercano al final de la línea.

En la Fig. A3-46 pueden verse las corrientes comunes medidas en los tres puntos. Se ve claramente que la corriente común varía de un punto a otro a lo largo de la línea eléctrica. En este ejemplo, la corriente común máxima, unos 40 $\text{dB}(\mu\text{A})$, se midió a cerca de 2,8 MHz en las líneas 2 y 3. Cabe señalar que se observan claramente varias señales de radiodifusión (por ejemplo, alrededor de 6 MHz), lo que, a su vez, indica que la línea eléctrica podría ser una buena antena receptora.

FIGURA A3-45

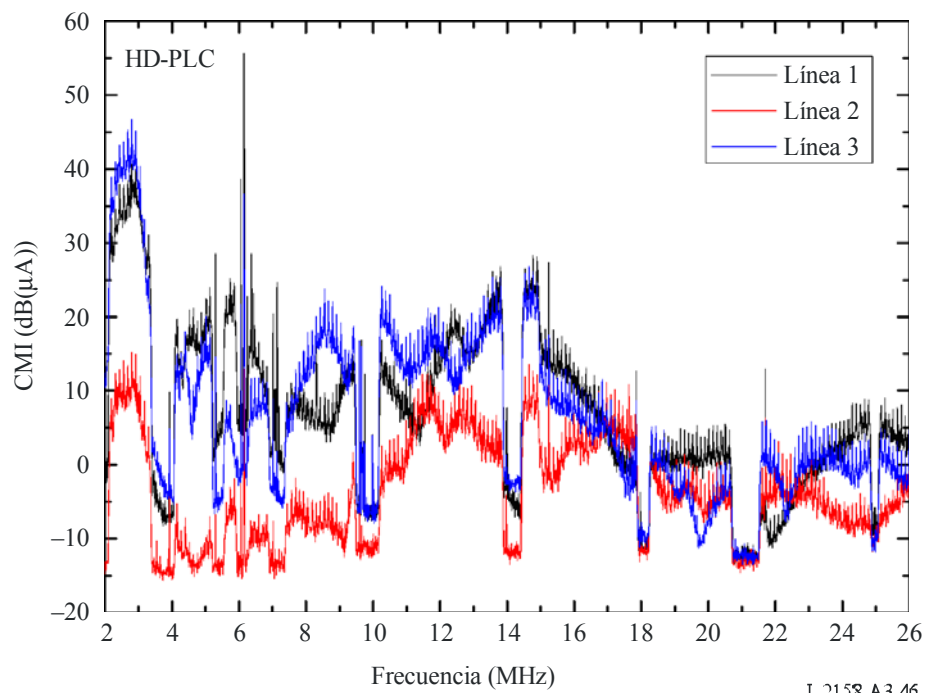
Distribución de la red de alimentación eléctrica de la casa utilizada para la medición



I. 2158-A3-45

FIGURA A3-46

Ejemplo de medición directa de la corriente común en la línea eléctrica de la casa



I. 2158-A3-46

A3.5.3.4 Derivación de la dependencia en la distancia

Para derivar la dependencia en la distancia, se seleccionaron tres gamas de frecuencias: 2 896-3 200 kHz, 10 304-10 592 kHz y 14 502-14 792 kHz, porque en ellas no se distinguen señales procedentes de servicios de radiocomunicaciones, a juzgar por los datos obtenidos de la medición del ruido ambiente (Figs. A3-39 a A3-44). En cada gama de frecuencias se calculó la intensidad de campo media y su desviación normalizada, que se muestran en la Fig. A3-47.

En la gama de ondas decamétricas, la frontera entre el campo cercano y el campo lejano ($\lambda/2\pi$) oscila entre 25 m (para 2 MHz) y 1,5 m (para 30 MHz). Por consiguiente, es necesario tener este factor en cuenta para encontrar un modelo adecuado que explique la distribución de la intensidad de campo medida. El modelo de radiación dipolo es una buena aproximación:

$$E = \frac{Z_0 I L}{2\pi D} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2\pi D}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2\pi D}\right)^4} \quad (\text{A3-4})$$

donde:

- E : intensidad de campo
- Z_0 : impedancia del espacio
- I : corriente
- L : longitud del hilo
- λ : longitud de onda
- D : distancia.

Suponiendo que $L = 5$ m, es posible derivar la corriente, I , comparando la curva del modelo y las intensidades de campo medidas. Los valores de corriente (común) derivados son 42 dB(μ A) para la gama de 3 MHz, 24 dB(μ A) para la gama de 10 MHz y 20 dB(μ A) para la gama de 14 MHz. Las curvas del modelo también se muestran en la Fig. A3-47.

Los valores de corriente común derivados de la Fig. A3-47 son ligeramente inferiores a las mediciones de la Fig. A3-46. Cuando se tiene en cuenta la atenuación debida a los muros, se liman las diferencias entre los valores obtenidos con la medición directa y las estimaciones de corriente común. Se puede considerar que la estructura de línea eléctrica simple (Fig. A3-45) es coherente con la aproximación de radiación de dipolo⁵⁶.

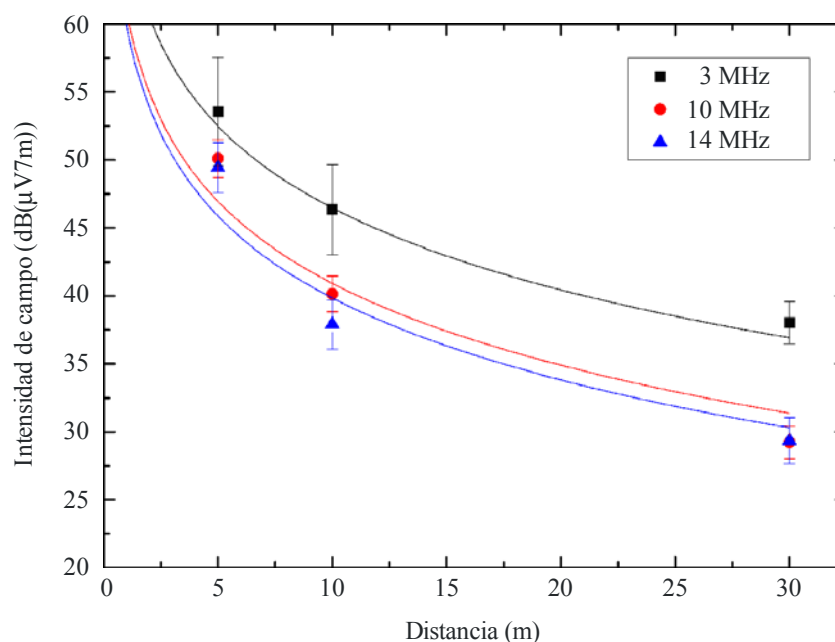
A3.5.3.5 Resumen

Se midieron la fuga de intensidad de campo eléctrica y la corriente común a lo largo de la línea eléctrica a que estaban conectados los módems PLT domésticos. A partir de estos datos, se vio que el modelo de radiación de dipolo es una buena aproximación para expresar la relación entre la intensidad de campo y la distancia desde la fuente de radiación.

⁵⁶ VICK, R. Estimating the radiated emissions of domestic main wiring caused by power-line communication systems. EMC Zurich Conf., (febrero de 2003), pp. 87-92.

FIGURA A3-47

Ejemplo de distribución de la intensidad de campo eléctrica
y curvas del modelo



I. 2158-A3-47

La ecuación (A3-4) puede expresarse para el campo cercano como:

$$E \approx Z_0 \frac{IL\lambda}{8\pi^2 D^3} \quad \text{para} \quad \frac{\lambda}{2\pi D} \gg 1$$

y para el campo lejano como:

$$E \approx Z_0 \frac{IL}{2\lambda D} \quad \text{para} \quad \frac{\lambda}{2\pi D} \ll 1$$

Por consiguiente, la dependencia en la distancia no será un valor simple (por ejemplo, 20 dB/década o 40 dB/década), y debería escogerse cuidadosamente en función de la relación entre la longitud de onda y la distancia.

A3.6 Incidencia de la radiación de fuga causada por los sistemas PLT domésticos en las observaciones de radioastronomía

A3.6.1 Introducción

Las señales radioeléctricas procedentes de fuentes celestes que detectan los telescopios de radioastronomía y, por consiguiente, los umbrales de interferencia prejudicial para el servicio de radioastronomías (SRA) estipulados en la Recomendación UIT-R RA.769 son muy inferiores a los niveles de ruido artificial indicados en la Recomendación UIT-R P.372. Por esa razón, los radioastrónomos han construido sus observatorios en zonas alejadas y han desarrollado técnicas para observar señales muy débiles procedentes de fuentes celestes en condiciones de interferencia casi constante y no polarizada.

Dado que las perturbaciones procedentes de los sistemas PLT varían con el tiempo y son polarizadas, estos sistemas preocupan en gran medida a los radioastrónomos. Sin embargo, hasta ahora no se habían tomado datos reales mediante telescópicos que funcionan en la banda de ondas

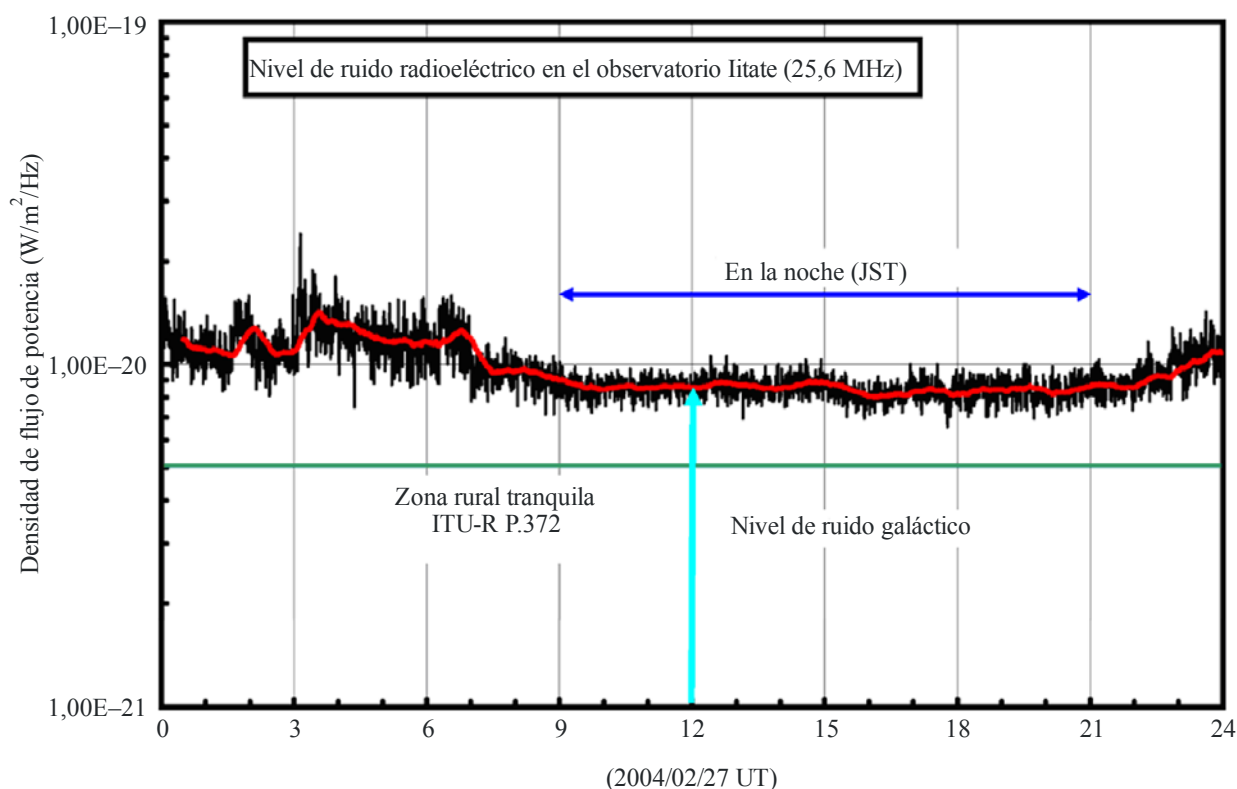
decamétricas para evaluar la incidencia de los sistemas PLT en las observaciones del SRA. Para colmar esta laguna hemos utilizado telescopios radioeléctricos reales para medir las perturbaciones que causan los sistemas PLT.

A3.6.2 Entorno de ruido radioeléctrico en el lugar de medición

Las mediciones se tomaron en el observatorio de Iitate de la Universidad de Tohoku, en Japón. El observatorio está situado en una zona montañosa alejada y sus coordenadas son 37° 42' N y 140° 40' E. Está rodeado de un bosque y no hay residentes en un radio de unos 1,2 km, por lo que el entorno de ruido radioeléctrico resulta adecuado para observaciones de radioastronomía en las bandas de ondas decamétricas y métricas/decimétricas. En la Fig. A3-48 se muestra el ruido radioeléctrico medido con un radiotelescopio en el observatorio de Iitate. Se observa que este ruido está dominado por el ruido galáctico, aunque también aparece un poco de ruido artificial durante el día. El nivel de ruido radioeléctrico está comprendido entre los correspondientes a una zona rural y una zona rural tranquila definidos en la Recomendación UIT-R P.372.

FIGURA A3-48

Ruido radioeléctrico medido en el observatorio de Iitate en febrero de 2004



I. 2158-A3-48

A3.6.3 Mediciones⁵⁷

En el Cuadro A3-7 se indican las características de los módems PLT domésticos utilizados, que están comercialmente disponibles en Japón. Estos módems PLT se instalaron en una casa de madera de una sola planta dentro del observatorio. Aunque la casa está rodeada por un bosque, la vista está suficientemente despejada hacia el oeste, el sur y el suroeste de la misma (véase la Fig. A3-49).

⁵⁷ Para mayor información, véase OHISHI, M., KITAGAWA, M., MISAWA, H., y TSUCHIYA, F. [September, 2010] Impact of the PLT Disturbance against Radio Astronomy in the HF Band, AP-RASC 2010 celebrada en Toyama, Japón, E1-3.

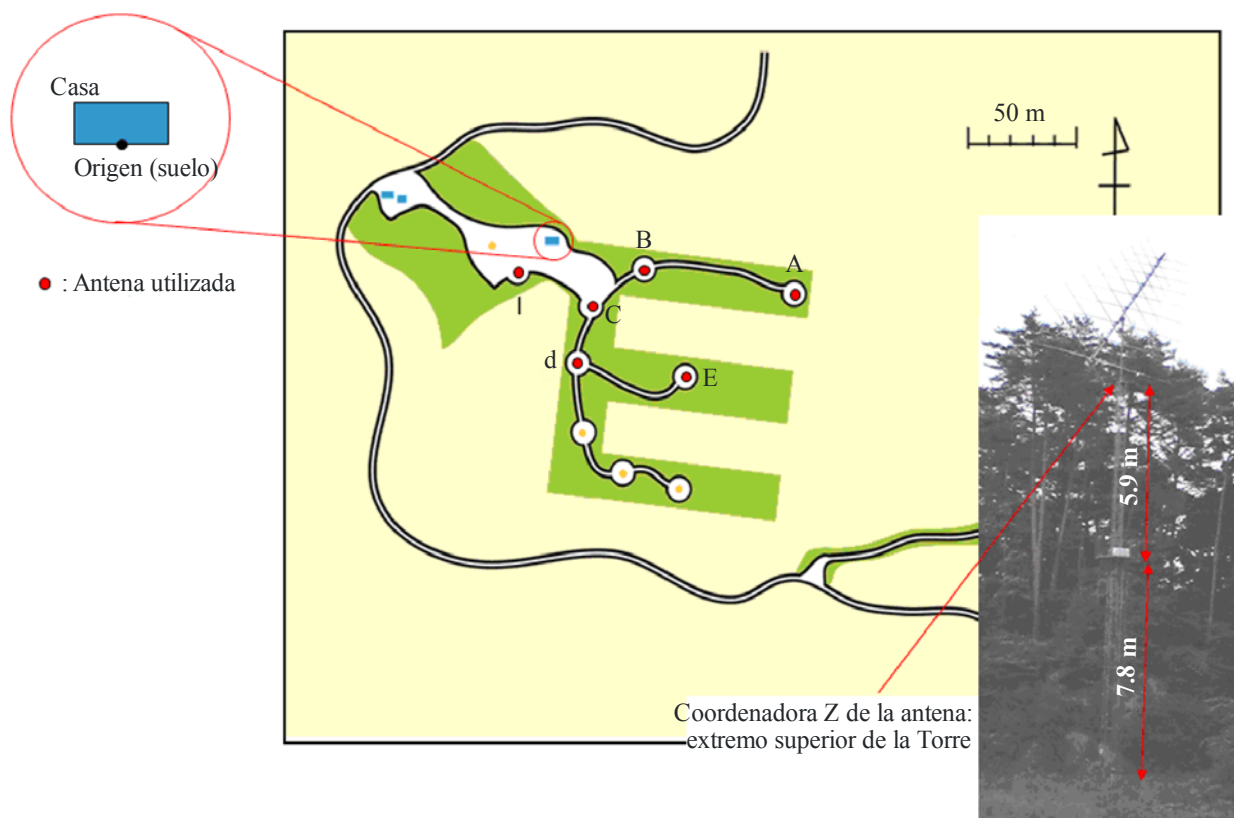
Se conectaron un par de módems PLT a los enchufes de la casa, y cada módem a un computador personal. La transmisión de datos consistió en enviar un fichero de gran tamaño desde un computador al otro a través de los módems PLT. Se tomaron medidas de la radiación de fuga durante la transferencia de ficheros. Para medir el ruido radioeléctrico del ambiente, se desconectaron los módems PLT. Las Corrientes inyectadas se indican en § A3.5.3.3 del presente Informe.

CUADRO A3-7

Módems PLT utilizados para tomar medidas

Norma PLT	Gama de frecuencias	Velocidad de datos (capa PHY)
HD-PLC	2-28 MHz	210 Mbit/s
UPA	2-30 MHz	200 Mbit/s

FIGURA A3-49

Configuración de la casa de pruebas y las antenas del SRA

CUADRO A3-8

Coordenadas relativas respecto al origen y distancia desde el origen (casa de pruebas)

Antena	X (m)	Y (m)	Z (m)	R (m)
A	126,0	-11,5	7,5	126,5
B	43,5	-9,0	10,0	45,5
C	23,5	-29,0	12,5	39,5
D	16,0	-59,0	11,5	62,0
E	73,5	-59,0	7,5	94,5
I	-19,0	-22,0	13,5	32,0

NOTA 1 – X indica el sentido Este-Oeste cuyo signo positivo corresponde al Este, Y indica el sentido Norte-Sur, donde el signo positivo corresponde al Norte, y Z la altura. R significa la distancia desde el origen hasta la antena.

Para medir la radiación de fuga se utilizaron las antenas de radioastronomía del observatorio de Iitate. La antena consta de dos antenas ortogonales log-periódicas de ganancia máxima de 12-13 dBi. Se utilizaron seis antenas como se muestra en la Fig. A3-49 y el Cuadro A3-8; la distancia desde la casa de pruebas hasta la antena oscila entre 32 y 126,5 m. Cada antena está dotada de un receptor frontal (R&K A-11) con un figura de ruido de 1,5 dB. Además, cada receptor frontal dispone de un filtro pasa alta (con una frecuencia de corte de 12,5 MHz) para evitar la saturación del receptor debido a señales intensas en la gama de ondas métricas. Las señales detectadas se transfirieron por cables coaxiales enterrados, y se introdujeron en el receptor trasero (Advantest R3131) controlado por un PC a través de GPIB. Después de 10 segundos de muestreo, se obtuvieron los datos mediante el PC.

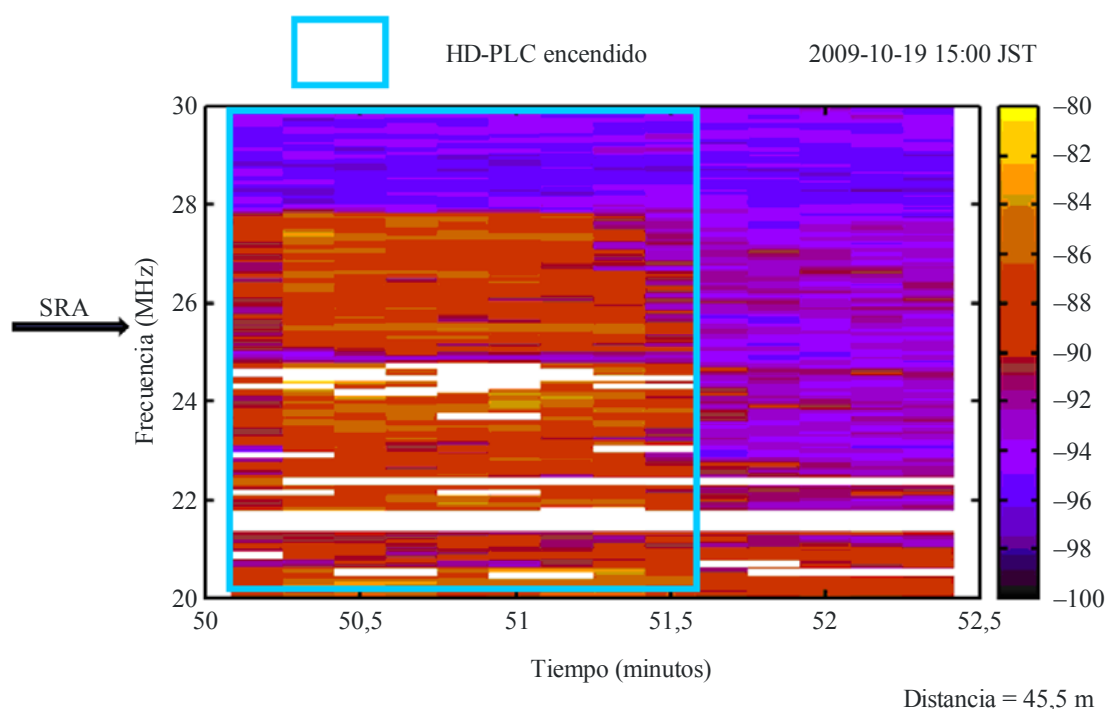
Durante los experimentos también se midieron la corrientes en modo común (CMI) que circulaban por los cables coaxiales enterrados. La CMI medida era inferior a 0 dB μ A, y se confirmó que la contribución de las reemisiones originadas en los cables coaxiales a las emisiones observadas por las antenas del SRA eran desdenables.

A3.6.4 Datos medidos

En la Fig. A3-50 se muestra el espectro dinámico alrededor de la banda de 25 MHz del SRA (25,55-25,67 MHz) a una distancia de 45,5 m desde la casa de pruebas. El espectro se tomó después de un promedio de 10 segundos con una anchura de banda de resolución (RBW) de 10 kHz. La banda del SRA se indica mediante una flecha. Puede verse claramente que la perturbación PLT rebasa el nivel del ruido ambiente en unos 10 dB y que la banda del SRA queda oculta cuando el módem está encendido.

FIGURA A3-50

Espectro dinámico obtenido alrededor de la banda de 25 MHz del SRA



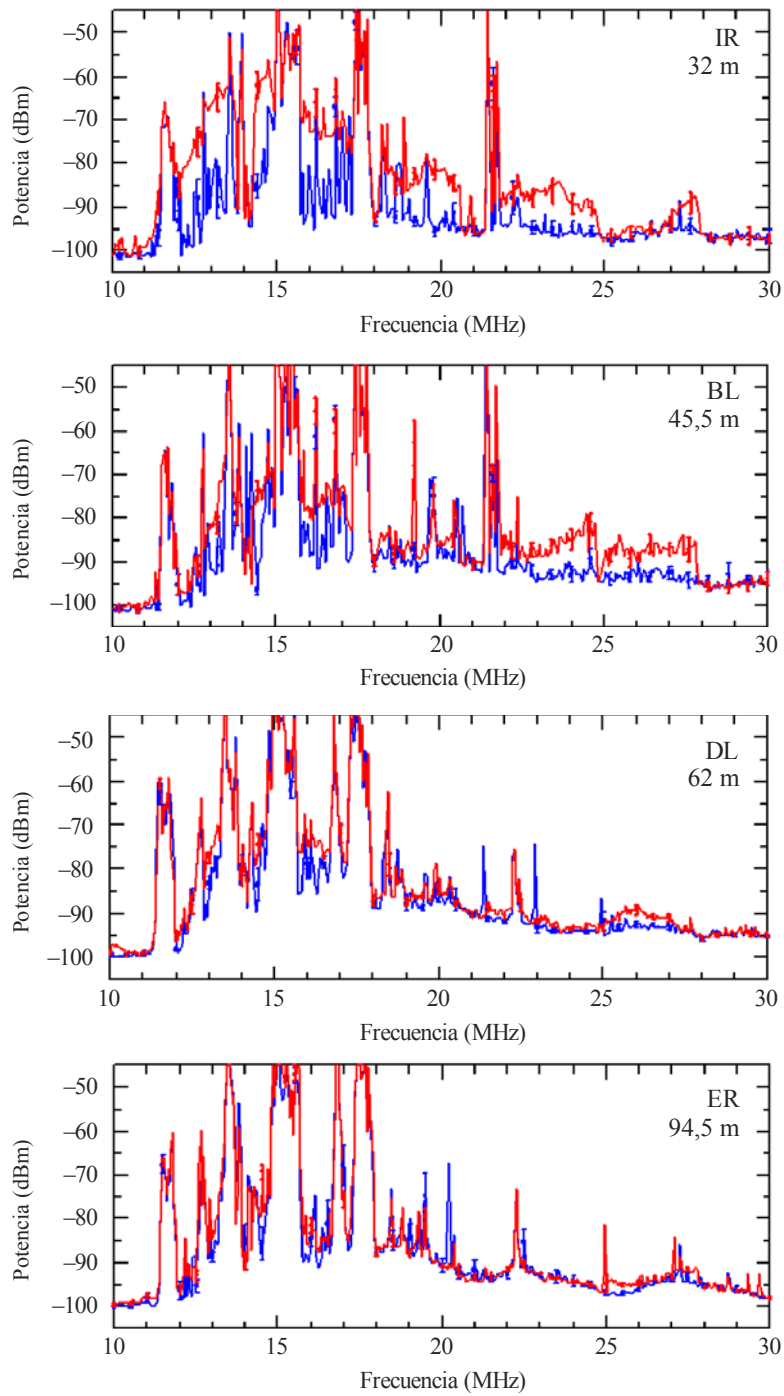
I. 2158-A3-50

La Fig. A3-51 ilustra el espectro de banda ancha observado a distancias de 32, 45,5, 62 y 94,5 m. En color rojo se muestra los datos cuando los módems PLT HD-PLC están transmitiendo datos, y en azul cuando están desconectados. La perturbación PLT puede observarse a distancias de hasta 94,5 m en la que se rebase el nivel de fondo en unos 2-3 dB. Se observa que el nivel rebasado por la antena I (distancia = 32 m) es de unos 30 dB, valor mucho mayor que el observado mediante una antena de bucle (unos 10 dB; véase § A.3.5.3.3). De esto se desprende que podría haber variaciones según la altura o que la ganancia de la antena sería mayor para ángulos de elevación más grandes.

Se observa que el nivel rebasado alrededor de la banda de 25 MHz del SRA no disminuye monótonamente; el nivel rebasado observado mediante la antena I (distancia = 32 m) es inferior al observado con la antena B (distancia = 45,5 m). Estos resultados se habrán de tener en cuenta en los futuros estudios de la interferencia que causan los sistemas PLT a los servicios de radiocomunicaciones.

En la Figura A3-52 se muestra el espectro ampliado alrededor o cerca de la banda de 25 MHz del SAR, observado a distancias comprendidas entre 45,5 y 126,6 m. En color rojo se muestra los datos cuando los módems PLT HD-PLC están transmitiendo datos, y en azul cuando están desconectados. El espectro se tomó después de efectuar un promedio de 1 minuto con una anchura de banda de resolución (RBW) de 10 kHz. La perturbación PLT puede observarse a una distancia de hasta 126,5 m con un nivel rebasado de 1 dB aproximadamente. En el Cuadro A3-9 se resumen los niveles rebasados que se observaron en la banda de 25 MHz del SRA o en las proximidades de la misma.

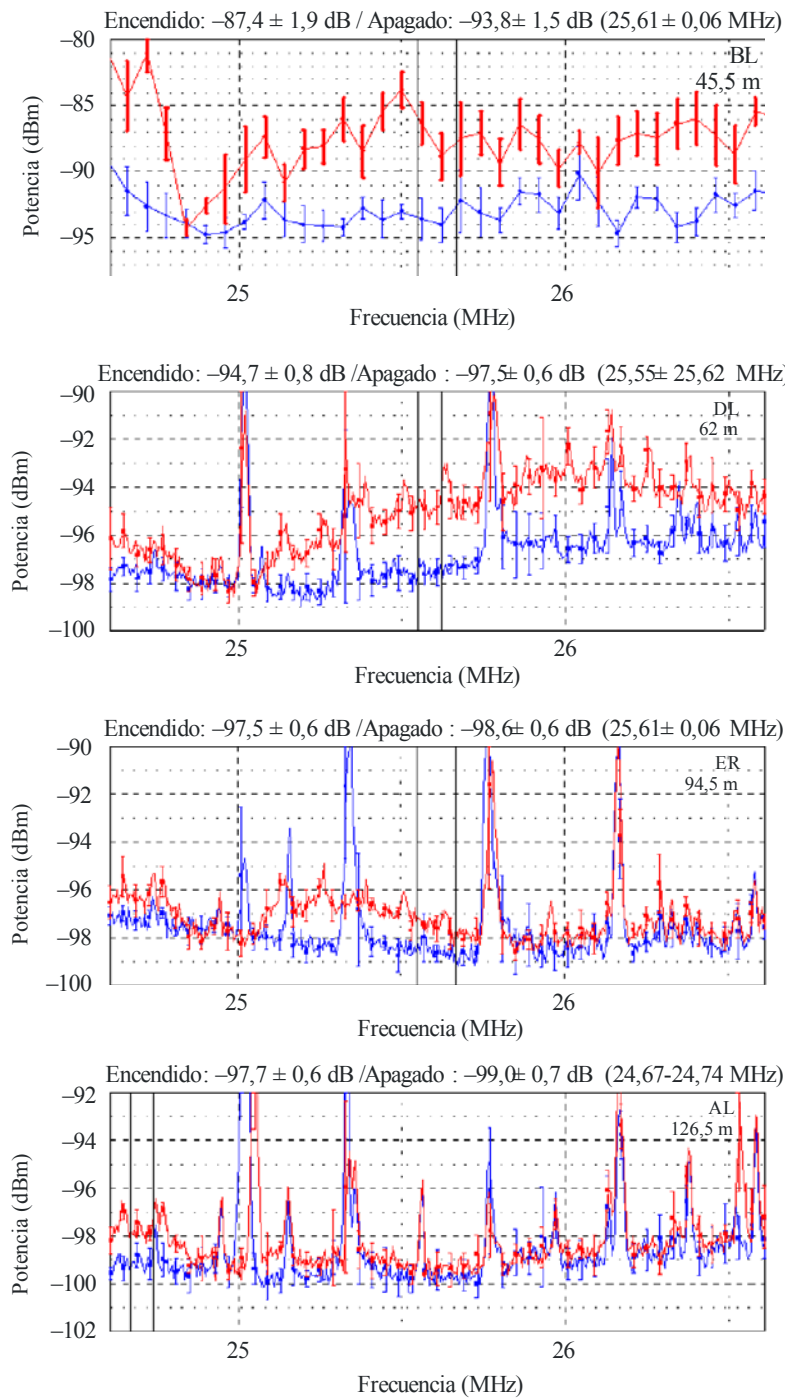
FIGURA A3-51

Espectro de banda ancha observado

I. 2158-A3-51

Nota 1 – Las RBW eran de 10 kHz (antenas I y B) y de 30 kHz (antenas D y E).

FIGURA A3-52

Espectro ensanchado alrededor de la banda de 25 MHz del SRA

I. 2158-A3-52

CUADRO A3-9

**Nivel rebasado por la perturbación PLT y comparación
con la Rec. UIT-R RA.769**

Antena	Distancia (m)	Nivel rebasado (dB)	Nivel rebasado (K)	Relación
A	126,5	$1,3 \pm 0,9$	5 276	$5,4 \times 10^4$
E	94,5	$1,1 \pm 0,8$	4 358	$4,4 \times 10^4$
D	62,0	$2,8 \pm 0,9$	13 690	$1,4 \times 10^5$
B	45,5	$6,4 \pm 2,4$	50 880	$5,2 \times 10^5$

A3.6.5 Evaluación de la perturbación PLT comparada con la Rec. ITU-R RA.769

Los niveles rebasados que se indican en el Cuadro A3-9 puede expresarse en función de la temperatura mediante la siguiente expresión:

$$T = T_{sys}(10^{excess/10} - 1)$$

siendo T_{sys} la temperatura del sistema (suma del ruido de fondo (ruido galáctico) y la temperatura de ruido del receptor convertida a la figura de ruido). Dado que la figura de ruido del receptor es 1,5 dB, la correspondiente temperatura de ruido del receptor es de 120 K. La temperatura de ruido galáctico es de 15 000 K en 25,6 MHz (Recomendación UIT-R RA.769). Así, la temperatura del sistema, T_{sys} es 15 120 K. Los resultados convertidos se muestran en la 4ª columna del Cuadro A3-9.

Los umbrales de interferencia perjudicial para el SRA pueden calcularse a partir de la fluctuación estadística del ruido en el receptor de radioastronomía mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta T = \frac{T_{sys}}{\sqrt{B\tau}}$$

siendo:

ΔT : la fluctuación estadística del ruido

B : la anchura de banda

τ : el tiempo de integración (véase la Recomendación UIT-R RA.769).

Los umbrales de interferencia perjudicial para el SRA se definen como el 10% de la fluctuación de ruido para un tiempo de integración de 2 000 s. En este caso, $T_{sys} = 15\,120$ K, $B = 120$ kHz y $\tau = 2\,000$ s, y el valor umbral resulta 97,2 mK. En la columna 5 del Cuadro A3-9 se indican las relación de los niveles rebasados debido a la perturbación PLT expresados en K para ese umbral de interferencia (97.2 mK). Como se observa, las relaciones son mayores que 10^4 .

Es evidente ahora que un solo par de módems PLT degradan gravemente las observaciones del servicio de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas.

A3.6.6 Mitigación de la perturbación PLT causada a las observaciones de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas

Las observaciones de radioastronomía utilizan diversas técnicas para detectar señales más débiles que el ruido de fondo. La primera de estas técnicas consiste en integrar durante un periodo largo de tiempo para promediar las fluctuaciones del ruido. Si el ruido de fondo se comporta de manera

aleatoria, el promedio permitirá obtener un nivel de ruido muy inferior. La segunda consiste en restar el ruido de fondo mediante el procesamiento de la señal. Estas técnicas sólo son válidas si el ruido superfluo se mantiene constante en el tiempo y no está polarizado.

Como las perturbaciones PLT suelen estar polarizadas y varían con el tiempo, no se puede recurrir a las técnicas citadas para mitigar dichas perturbaciones.

Una tercera técnica, que se utiliza a menudo, consiste en mantener una distancia de separación entre la antena y las fuentes de interferencia con el fin de evitar la interferencia perjudicial. Suponiendo una atenuación por propagación en el espacio libre y efectuando el cálculo a partir de la potencia de la perturbación PLT recibida por la antena del SRA, para proteger las observaciones de radioastronomía en la banda de ondas decamétricas se necesita una distancia de separación de unos 33 km en el caso de un solo par de módems PLT. Sería poco realista suponer que los usuarios PLT tienen presente la interferencia que causan a los observatorios de radioastronomía cercanos que funcionan en la banda de ondas decamétricas. Dado que para utilizar módems PLT no se requiere licencia, su despliegue resultaría impracticable aun cuando se estableciera una zona de exclusión alrededor de los observatorios de radioastronomía.

Una técnica de mitigación eficaz para proteger al servicio de radioastronomía en la banda de radioastronomía en la banda HF sería instalar un filtro de eliminación de banda permanente y profundo (de una profundidad de al menos 50 dB) para las bandas del SRA. Esta conclusión está en consonancia con la descrita en § A2.4.4.3.

A3.6.7 Conclusiones

Las perturbaciones PLT causadas por módems PLT domésticos se midieron mediante antenas de radioastronomía y se detectaron a distancias de hasta 130 m. Se comprobó que las perturbaciones PLT son entre $4,4 \times 10^4$ y $5,2 \times 10^5$ mayores que el umbral de interferencia perjudicial al servicio de radioastronomía. En estos resultados se indica una distancia mínima de coordinación de 33 entre la antena del SRA en ondas decamétricas y un par de sistemas PLT, aunque sería inviable mantener estas distancias de separación mínima en el caso de sistemas PLT que no requieren licencia. Se necesitan filtros de eliminación de banda permanentes, con una profundidad mínima de 50 dB, para evitar que se cause interferencia perjudicial a las observaciones de radioastronomía en las bandas del SRA.

Apéndice 1 al Anexo 3

Medición de la radiación electromagnética generada por dispositivos PLT domésticos operativos en un entorno residencial – Informe de las pruebas en el terreno

«Measurements of EM radiation from in-house Power Line Telecommunication (PLT) devices operating in a residential environment – Field Test Report», Centro de Investigación en Comunicaciones (Canadá, 24 de marzo de 2009, puede consultarse en la dirección:

<http://www.nabanet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf> o véase el Anexo 1 al Documento 1A/176.

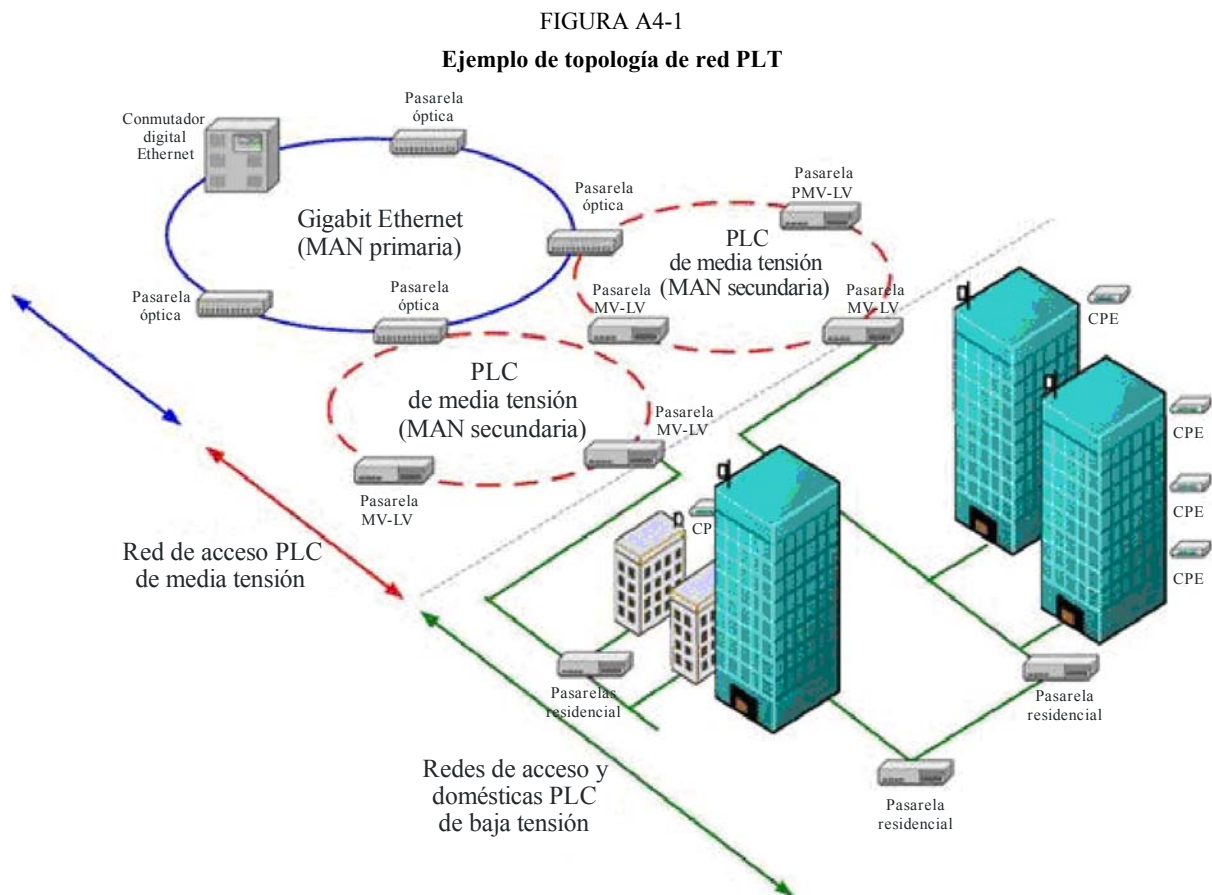
Anexo 4

Ejemplos de diseño de la tecnología PLT

A4 Ejemplos de diseño de la tecnología PLT

A4.1 Ejemplos de topología de una red PLT

En la Fig. A4-1 se muestra un ejemplo de topología de red PLT. En este ejemplo, la red de retroceso óptica está conectada a líneas o anillos de distribución eléctrica de media tensión mediante pasarelas óptico-PLT. Los anillos de media tensión están conectados a la red de distribución eléctrica de baja tensión, a la que están conectados los equipos en los locales del cliente (CPE, *customer premises equipments*), mediante pasarelas MV-LV-PLT. Los datos fluyen entre los terminales ubicados en los locales del cliente (CPE) a través de pasarelas domésticas desde y hacia los cabezales de línea (que no se muestran), que pueden estar conectados a la red en las pasarelas MV/LV (estaciones transformadoras).



I. 2158-A4-01

La arquitectura de red PLT puede dividirse en tres grandes partes, que tienen su propia arquitectura:

- Una línea de retroceso, idealmente un anillo óptico.
- Un anillo PLT de media tensión, con división en frecuencia o división en el tiempo.
- Un anillo PLT de baja tensión, normalmente con una topología en árbol o en estrella.

A4.2 Consideraciones generales de diseño

A4.2.1 Control de acceso a los medios

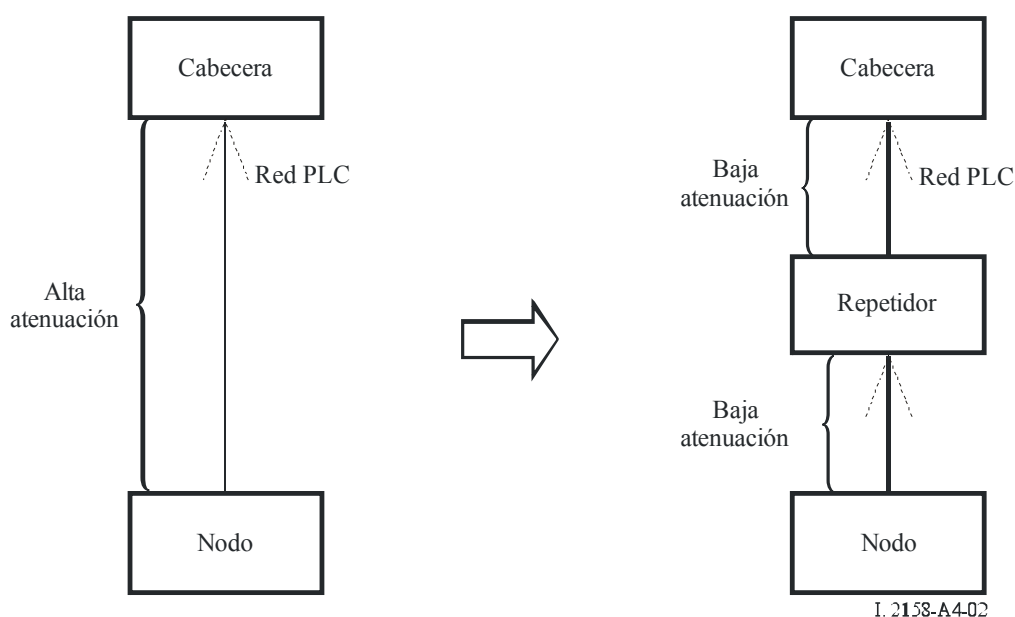
El objetivo del control de acceso a los medios (MAC, *media access control*) es distribuir el acceso entre los distintos usuarios, y tiene que poder soportar diversas arquitecturas, además de permitir:

- Una relación maestro-esclavo, donde existe una conexión de datos entre el equipo de cabecera (HE, *head end equipment*) y el equipo en los locales del cliente (CPE). Es la relación normal entre redes de baja tensión.
- Una relación de controlador central, que permite la comunicación directa entre dos dispositivos de la red y es la que se suele utilizar en los anillos de media tensión.

A4.2.2 Repetidores

A causa de la alta atenuación en los canales de las líneas eléctricas, en ocasiones es necesario utilizar repetidores (tanto en la red de media tensión como en la de baja tensión) para lograr una cobertura completa de la red eléctrica. Estos repetidores no se muestran explícitamente en la Fig. A4-2 y pueden instalarse allí donde se necesiten para garantizar que a todos los nodos llega una señal de nivel adecuado.

FIGURA A4-2
Utilización típica de un repetidor



A4.2.3 Multiplexación y acceso múltiple

Los sistemas PLT pueden estar diseñados con diversos esquemas de multiplexación y acceso múltiple:

- División en frecuencia.
- División en el tiempo.

Para evitar la interferencia entre la red de media tensión y la de baja tensión, cada una de las redes PLT puede utilizar una gama de frecuencias distinta. Esto también ocurre en la frontera entre la red de baja tensión y la red doméstica. En general, la división en frecuencia se utiliza entre la red de media tensión y la red de baja tensión, así como en los repetidores de baja tensión situados en los

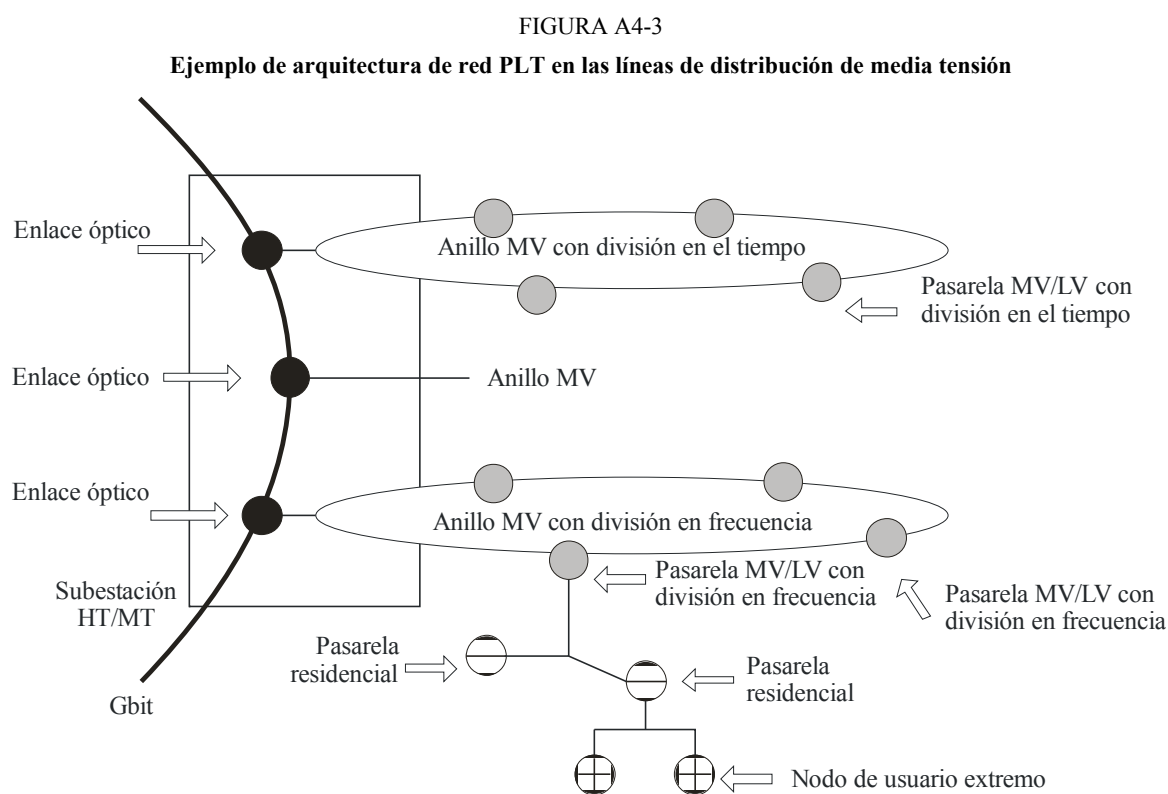
cimientos de los edificios, lo que permite reutilizar las frecuencias en distintos edificios. Si los dispositivos PLT están instalados únicamente en la red de baja tensión o en la de media tensión, puede utilizarse el acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA, *time division multiple access*).

A4.2.4 Distancia

La distancia entre dos nodos de una red PLT (en una topología de anillo) o entre la cabecera (principal) y la pasarela doméstica (subordinado) en ocasiones es demasiado grande y es posible que el equipo receptor no pueda obtener correctamente los datos. En este caso es necesario utilizar repetidores.

A4.3 Arquitecturas de red PLT en las líneas de distribución de media tensión

En la Fig. A4-3 se presenta un ejemplo de arquitectura MV-PLT, donde los anillos de media tensión están conectados a una línea de retroceso óptica. Estos anillos pueden utilizar la división en el tiempo o la división en frecuencia, en función de la latencia necesaria y las características de la instalación. Cada nodo del anillo puede estar conectado a una red LV-PLT.



I. 2158-A4-03

A4.4 Arquitectura de red PLT en las líneas de distribución de baja tensión

La red PLT en las líneas de distribución LV representa la última sección de la conexión entre la línea de retroceso y el cliente. Esta red se ve directamente afectada por las características de la red de distribución eléctrica de los locales del cliente. Los principales factores que influyen en la arquitectura LV-PLT son:

Emplazamiento de la red – Una red PLT puede estar situada en una zona residencial, industrial o comercial. Además, hay diferencias entre las zonas residenciales rurales, suburbanas y urbanas. Las zonas industriales y comerciales se caracterizan por un mayor número de clientes que pueden ser usuarios de servicios PLT. También se prevé que los abonados de las zonas comerciales tengan

necesidades diferentes de las de los abonados industriales y, sobre todo, los residenciales. Diferencias semejantes pueden encontrarse entre las zonas urbanas y rurales.

Densidad de abonados – El número de usuarios/abonados de una red de baja tensión, así como la concentración de los mismos puede variar de una red a otra. Los abonados pueden encontrarse principalmente en casas individuales (baja densidad de abonados), como suele ser típico de las zonas rurales y suburbanas; en pequeños bloques donde se reúnen varios clientes individuales (por ejemplo, zona residencial urbana); en edificios con un gran número de apartamentos u oficinas o en torres de apartamentos u oficinas (muy alta densidad de abonados), como puede pasar en las grandes zonas comerciales.

Longitud de la red – La distancia máxima que separa el transformador del usuario en una red de baja tensión también varía de una a otra. Normalmente hay una gran diferencia en la longitud de red entre las zonas rurales y urbanas.

Diseño de red – Una red de baja tensión suele estar formada por varias secciones de red (derivaciones) de número variable, pero varía de una red a otra.

A4.4.1 Topología de red PLT de baja tensión

Esta topología corresponde a zonas residenciales de baja densidad, formadas principalmente por casas individuales. Se ha de instalar una cabecera en la estación transformadora. A continuación, para obtener una buena calidad de funcionamiento, la distancia entre los repetidores (o entre la cabecera y un repetidor) no deberá ser superior a 100 m. Esto suele implicar que entre dos repetidores no hay más de dos casetas. Otro requisito es la distancia entre los repetidores y las unidades de terminación de red (NTU, *network termination units*). En algunos lugares es necesario instalar repetidores adicionales en las casetas intermedias para aumentar la calidad de funcionamiento de algunos clientes. En la Fig. A4-4 se muestra un ejemplo de esta topología. Normalmente hay tres o cuatro repetidores en un alimentador de 300 m de largo. En la Fig. A4-4, las líneas discontinuas muestran que los datos de algunas NTU deben transitar por una segunda caseta antes de llegar al repetidor.

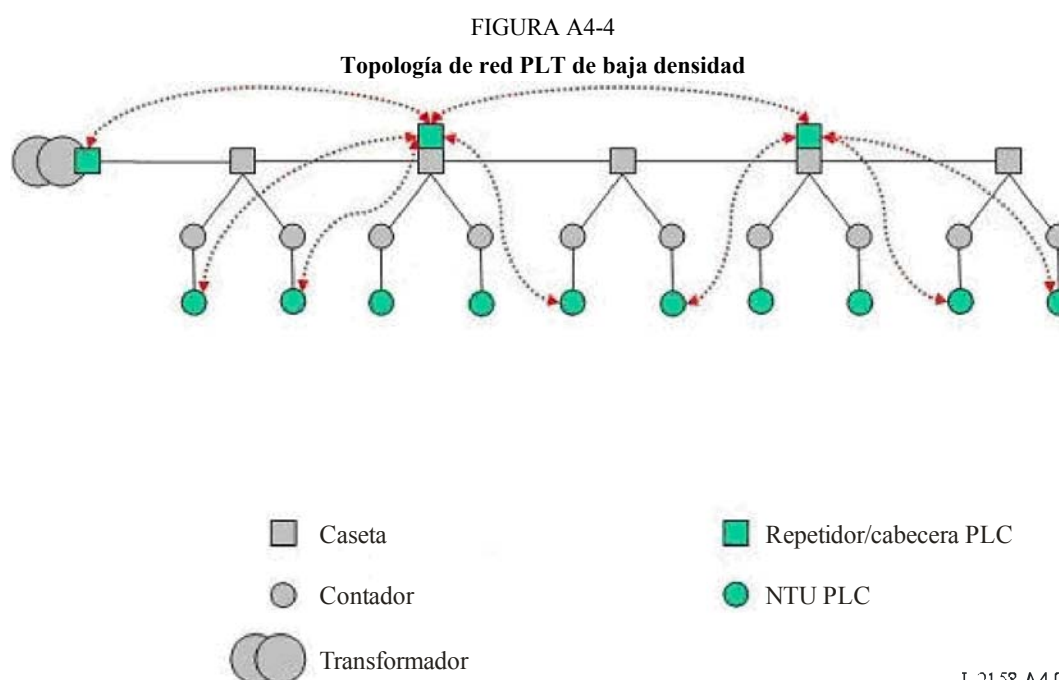
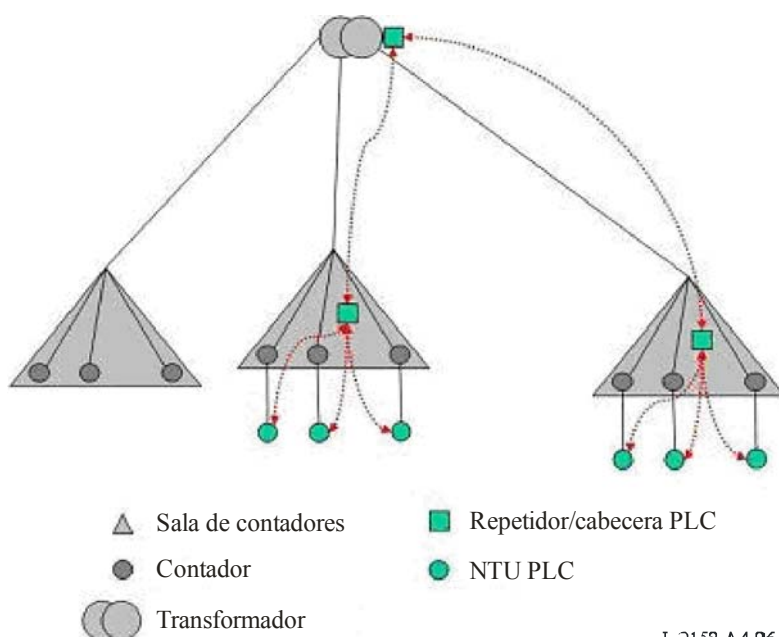
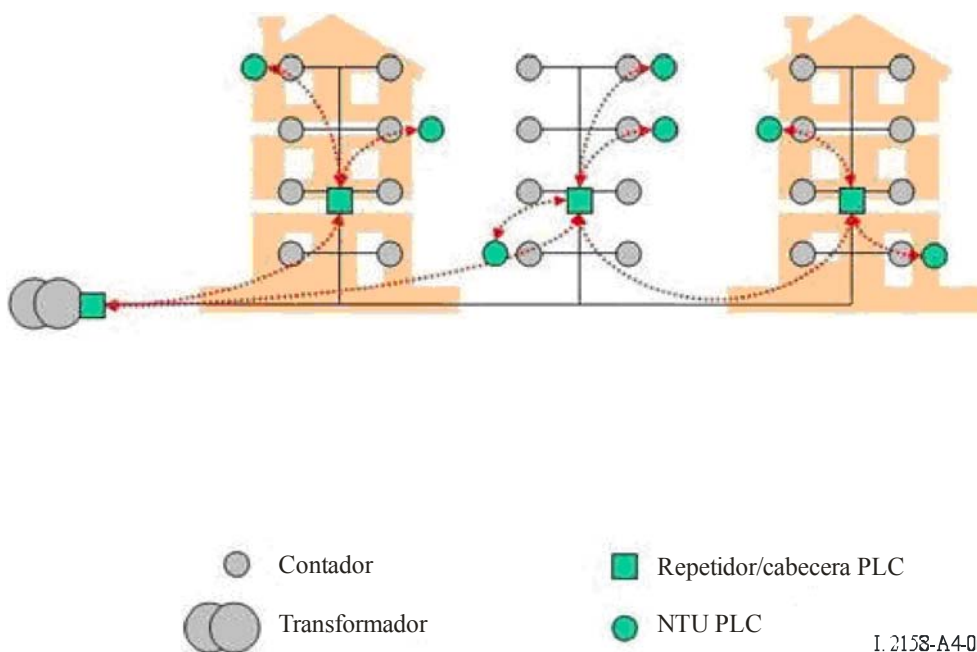


FIGURA A4-6
Ejemplo de topología de red PLT en árbol



I. 2158-A4-06

FIGURA A4-7
Ejemplo de topología de red PLT multiplanta



I. 2158-A4-06