



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECANICA Y ELECTRICA
SECCIÓN DE DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



**IMPACTO EN LOS SERVICIOS DE
RADIOCOMUNICACIÓN DEBIDO A LA
INTRODUCCIÓN DE COMUNICACIONES DE
BANDA ANCHA SOBRE LÍNEAS DE POTENCIA
ELÉCTRICA (BPL)**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA:

ING. GRACIEL ANDRÉS ANTONIO

DIRECTOR DE TESIS:

M. en C. MIGUEL SÁNCHEZ MERAZ



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 10:00 horas del día 6 del mes de Mayo del 2008 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E. S. I. M. E. para examinar la tesis de grado titulada:

“IMPACTO EN LOS SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN DEBIDO A LA INTRODUCCIÓN DE COMUNICACIONES DE BANDA ANCHA SOBRE LÍNEAS DE POTENCIA ELÉCTRICA (BPL)”

Presentada por el alumno:

ANDRES

Apellido paterno

ANTONIO

Apellido materno

GRACIEL

Nombre(s)

Con registro:

A	0	5	0	1	5	0
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

M. EN C. MIGUEL SÁNCHEZ MERAZ

Segundo Vocal

DR. JORGE ROBERTO SOSA PEDROZA

Secretario

DR. MAURO ALBERTO ENCISO AGUILAR

Presidente

DR. VLADIMIR KAZAKOV ERASOVA

Tercer Vocal

M. EN C. JOSÉ HÉCTOR CALTENCO FRANCA

Suplente

M. EN C. MARCO ANTONIO ACEVEDO MOSQUEDA



EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

DR. JAIMÉ ROBLES GARCÍA
SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO**

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D. F., el día 22 del mes Mayo del año 2008
el(la) que suscribe Graciél Andrés Antonio alumno (a) del Programa de
Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones
con número de registro A050159 adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor(a) intelectual del presente Trabajo de Tesis
bajo la dirección del M. en C. Miguel Sánchez Meraz y cede los derechos del
trabajo intitulado: Impacto en los servicios de radiocomunicación debido a la introducción de al
Comunicaciones de Banda Ancha sobre Líneas de Potencia Eléctrica (BPL)
Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines Académicos y de Investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo
sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la
siguiente dirección: graciél530@yahoo.com.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente
del mismo.

Nombre y Firma

Graciél Andrés Antonio

Agradecimientos

Al ser Todopoderoso:

A Dios por permitirme existir, por no dejarme caer, por darme fe y esperanza de un mejor mañana. Por que sin él no sería nada.

A mis Padre y Hermanos:

Por su apoyo siempre incondicional y por haber compartido conmigo ilusiones y sueños. A mis padres por haberme enseñado que en la vida el éxito se obtiene luchando. Especialmente, a la memoria de mi madre que espiritualmente siempre me ha acompañado.

A mi Esposa e Hija:

Ruby y T. Matsa'a por compartir conmigo su amor y darme la alegría de sus sonrisas, alentándome a seguir adelante. Gracias por saber esperar pacientemente mi regreso.

A mi director de tesis:

M. en C. Miguel Sánchez Meraz por haberme alentado y brindado las herramientas necesarias para realizar este proyecto, así como su amistad.

Al Ing. José Zavala Chávez

Por haber mostrado siempre disponibilidad en las asesorías brindadas; sin el cual la realización de este proyecto hubiera sido más complicada. Gracias por esta expresión de amistad inolvidable.

A mis compañeros de la Maestría:

Gracias por su amistad que me aliento a superar momentos difíciles y por compartir grandes momentos.

Y por último, quiero agradecer enormemente a la fundación Ford porque hizo posible mi sueño de estudiar este posgrado.

Sinceramente Graciél Andrés Antonio

RESUMEN

El presente trabajo de tesis abarca una problemática actual en la ingeniería de comunicaciones. La comunicación de banda ancha a través de la línea de potencia eléctrica (BPL), ya sea en baja o media tensión presenta el problema de radiación no intencional cuando las líneas conducen señales de datos, dicha radiación se pueden presentar con mayor intensidad en la banda de frecuencia de HF.

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación realizada acerca de la introducción de la tecnología BPL en nuestro país, sus antecedentes, así como una revisión de los servicios que podrían verse afectados por su introducción así como diferentes regulaciones internacionales al respecto.

Se presenta también los resultados de la evaluación de la interferencia sobre un equipo de radiocomunicación en la banda de HF por el sistema BPL.

ABSTRACT

The present thesis work is about a current problem in the engineering of communications. The broadband power line (BPL) either low or medium half voltage presents the problem of non intentional radiation when the line drives data, this radiation can be stronger at the HF band.

In this work are presented the results of a research about the introduction of the technology BPL in our country, their antecedents, as well as a study of the services that would be affected as well as different international regulations in this respect.

It is also presented the results of the evaluation of the interference on radiocommunication HF band for the BPL system.

CONTENIDO

Introducción	viii
Antecedentes.....	xi
Justificación	xiii
Objetivos	xiv
Capítulo 1 Tecnología BPL.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Definiciones.....	2
1.2.1 Clasificación de BPL.....	2
1.3 La tecnología de BPL.....	3
1.4 Características de red de distribución de energía eléctrica.....	3
1.5 Ventajas de BPL.....	5
1.6 Problemas en BPL.....	7
1.6.1 Campo radiado.....	7
1.6.2 Usuarios del espectro electromagnético.....	8
1.6.3 Problemas de ruido.....	8
1.6.4 Aspecto legal de BPL.....	10
1.6.5 Interferencia electromagnética EMI.....	10
1.6.5.1 Clasificación de perturbaciones.....	11
1.6.5.2 Fuentes de interferencias.....	11
1.6.6 Interferencia con HF.....	13
1.6.6.1 Propagación de HF.....	13
1.6.6.2 Interferencia de BPL.....	14
1.7 Arquitectura de BPL.....	15
1.7.1 OFDM.....	15
Capítulo 2 Servicios de radiocomunicación afectados por BPL.....	16
2.1 Introducción.....	16
2.2 Servicios de radiocomunicación en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias de México en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	17
2.3 Clasificación de atribución de servicios.....	18
2.3.1 Servicio Fijo.....	19
2.3.2 Servicio Móvil.....	20
2.3.3 Servicio Móvil Terrestre.....	21
2.3.4 Servicio Móvil Marítimo.....	21
2.3.5 Servicio de Radiodifusión.....	22

2.3.6	Servicio Móvil Aeronáutico	22
2.3.7	Servicio de Frecuencias Patrón y Señales Horarias.....	23
2.3.8	Servicio de Radionavegación Aeronáutica.....	24
2.3.9	Servicio de Radiolocalización.....	24
2.3.10	Servicio de Radioastronomía.....	24
2.3.11	Servicio de Aficionados y Aficionados por Satélite.....	25
	2.3.11.1 Caso especial de los aficionados.....	26
2.3.12	Servicio de Operaciones Espaciales.....	26
2.3.13	Servicio de Radionavegación.....	26
2.3.14	Servicio de Ayudas a la Meteorología.....	27
2.4	Usuarios del espectro radioeléctrico en el intervalo de 2-54 MHz.....	27
2.5	Distribución de usuarios en banda de servicio.....	28
2.6	Conclusiones.....	30
Capítulo 3	Estado actual sobre la normalización de BPL.....	31
3.1	Introducción.....	31
3.2	Propuestas sobre los límites de emisión.....	32
	3.2.2 Propuesta de la FCC parte 15.....	32
	3.2.3 Propuesta alemana.....	33
3.3	Nuevas propuestas regionales para la tecnología BPL.....	33
	3.3.1 Propuesta regional alemana.....	33
	3.3.2 Propuesta regional noruega.....	33
	3.3.3 Propuestas de la BBC y la OTAN.....	34
	3.3.4 Propuestas por algunos países.....	34
3.4	Reglamentación administrativa sobre BPL.....	34
3.5	Posición de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU).....	37
	3.5.1 Grupo de Trabajo 5 de la ITU-T.....	37
3.6	El Comité Internacional Especial para las Perturbaciones Radioeléctricas CISPR 22.....	37
3.7	Conclusiones.....	38
Capítulo 4	Medición de perturbaciones radiadas e impacto del sistema BPL de baja tensión sobre los equipos de radiocomunicación en la banda de HF.....	39
4.1	Introducción.....	39
	4.1.1 Objetivo de las pruebas realizadas.....	39
4.2	Medición de perturbaciones radiadas sobre el sistema BPL de baja tensión.....	40
	4.2.1 Ubicación sobre la realización de las mediciones de emisiones electromagnéticas.....	41
	4.2.2 Descripción de equipo bajo prueba.....	41

4.2.3	Especificaciones técnicas de los equipos de medición.....	41
4.2.4	Configuración del analizador de EMI.....	41
4.2.5	Aplicación de normas.....	41
4.2.6	Configuración sobre la prueba de perturbaciones radiadas.....	42
4.2.7	Procedimiento de medición de perturbaciones radiadas.....	44
4.2.8	Resultados obtenidos.....	44
4.2.8.1	Prueba de medición empleando la norma CISPR 22 para equipos clase B.....	45
	Polarización horizontal sin interferencia BPL	
	Polarización horizontal con interferencia BPL	
	Polarización vertical sin interferencia BPL	
	Polarización vertical con interferencia BPL	
4.2.8.2	Prueba de medición cumpliendo la recomendación de la FCC Parte 15 para sistemas de BPL de baja tensión con frecuencias mayores de 30 MHz.....	48
	Polarización horizontal	
	Polarización vertical	
4.2.8.3	Prueba de medición cumpliendo la recomendación de la FCC Parte 15 para sistema de BPL de baja tensión para frecuencias debajo de 30 MHz.....	50
	Polarización horizontal sin interferencia	
	Polarización horizontal con interferencia	
	Polarización vertical sin interferencia	
	Polarización vertical con interferencia	
4.3	Medición de SINAD en el receptor de radio.....	53
4.3.1	Procedimiento de medición de SINAD.....	54
4.3.2	Configuración sobre la prueba de sensibilidad SINAD.....	55
4.3.3	Resultado obtenido.....	55
4.4	Pruebas de medición de la afectación del sistema BPL sobre un equipo de radiocomunicación.....	57
4.4.1	Consideraciones generales de medición.....	57
	4.4.1.1 Ubicación para la realización de las mediciones.....	58
	4.4.1.2 Descripción de equipo bajo prueba.....	58
	4.4.1.3 Especificaciones técnicas de los equipos de medición.....	58
	4.4.1.4 Instalaciones y conexiones.....	58
4.4.2	Monitoreo de frecuencias libres en el espectro radioeléctrico.....	60
4.4.3	Método de prueba para verificar la afectación de las señales de radiocomunicación por los equipos BPL en 5, 10, 15, 20, 21.86, 25.6 y 27.75 MHz.....	62
4.4.4	Determinación del grado de afectación.....	64
4.4.5	Resultados obtenidos.....	65

Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones	74
5.1 Conclusiones.....	74
5.2 Recomendaciones.....	75

Bibliografía.....	76
--------------------------	-----------

Apéndices

A. Número de usuarios establecidos en el intervalo 2 a 54 MHz de acuerdo a la COFETEL	78
B. Fotografías tomadas en el sitio de prueba sobre perturbaciones radiadas.....	82
C. Fotografías de la medición de SINAD	85
D. Resultado de las mediciones de la afectación del sistema BPL sobre el sistema de radioreceptor MICOM.....	87
E. Código del programa para determinar la potencia contenida en el lóbulo principal.....	100

Lista de Tablas

Tabla 1.1	Valores de las constantes c y d.....	9
Tabla 2.1	Servicios de radiocomunicación en el intervalo 1.7-80 MHz.....	18
Tabla 2.2	Total de servicios atribuidos en 131 bandas en el intervalo 1.075-80 MHz.....	18
Tabla 2.3	Bandas de frecuencias asignadas para servicio fijo en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	19
Tabla 2.4	Bandas de frecuencia asignadas para servicio móvil en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	20
Tabla 2.5	Bandas de frecuencia asignadas para servicio móvil terrestre en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	21
Tabla 2.6	Bandas de frecuencia asignadas para servicio móvil marítimo en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	21
Tabla 2.7	Bandas de frecuencia asignadas para servicio de radiodifusión en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	22
Tabla 2.8	Bandas de frecuencias asignadas para servicio móvil aeronáutico (R) en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	23

Tabla 2.9	Bandas de frecuencias asignadas para servicio móvil aeronáutico (OR) en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	23
Tabla 2.10	Bandas de frecuencias asignadas para servicio de frecuencias patrón y señales horarias en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	24
Tabla 2.11	Bandas de frecuencias asignadas para servicio de radionavegación aeronáutica en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	24
Tabla 2.12	Bandas de frecuencias asignadas para servicio de radiolocalización en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	24
Tabla 2.13	Bandas de frecuencias asignadas para servicio de radioastronomía en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	25
Tabla 2.14	Bandas de frecuencias asignadas para servicio de aficionados en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	25
Tabla 2.15	Bandas de frecuencias asignadas para servicio de aficionados por satélite en el intervalo de 1.705-80 MHz.....	25
Tabla 2.16	Bandas de aficionados asignadas a títulos primario y secundario.....	26
Tabla 3.1	Límites de emisiones radiadas relevantes para BPL de la FCC.....	32
Tabla 3.2	Propuesta de Alemania.....	33
Tabla 3.3	Propuesta regional por Alemania.....	33
Tabla 3.4	Propuesta de Noruega.....	33
Tabla 3.5	Propuestas de la BBC de Reino Unido y la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte).....	34
Tabla 3.6	Propuesta por algunos países promotores de BPL.....	34
Tabla 3.7	Países y sus reglas implementadas sobre BPL	34
Tabla 3.8	Límites de emisiones no intencionales para redes de telecomunicaciones de la ITU-T K.60.....	37
Tabla 3.9	Límites de las perturbaciones radiadas para una distancia de medición de 10 m para los ETI clase B.....	38
Tabla 4.1	Niveles de afectación de un equipo de radiocomunicación frente al sistema de BPL doméstico en la banda de HF.....	56
Tabla 4.2	Frecuencias seleccionadas y utilizadas para realizar las pruebas de medición.....	62
Tabla 4.3	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 5 MHz.....	66
Tabla 4.4	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 10 MHz.....	67
Tabla 4.5	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 15 MHz.....	68
Tabla 4.6	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 20 MHz	69
Tabla 4.7	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 21.86 MHz.....	70
Tabla 4.8	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 25.6 MHz.....	71
Tabla 4.9	Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 27.75 MHz.....	72

Lista de Figuras

Figura 1.1	Arquitectura de un sistema de distribución de energía eléctrica.....	4
Figura 1.2	Espectro electromagnético.....	5
Figura 1.3a	Despliegue de BPL en Estados Unidos en 2006.....	6

Figura 1.3b	Comercialización y pruebas de BPL en el mundo en 2004.....	6
Figura 1.4	Modelo electromagnético de BPL.....	8
Figura 1.5	Valores promedios de la potencia del ruido artificial. Tipos de ambiente: A, comercial; B, residencial; C, rural; D, ambiente tranquilo; E, ruido galáctico.....	9
Figura 1.6	Partes principales de todos los fenómenos de interferencia electromagnética.....	10
Figura 1.7	Clasificación de perturbaciones electromagnéticas.....	11
Figura 1.8	Propuestas sobre los Límites de Interferencia Electromagnética.....	13
Figura 1.9	Zona de cobertura de los sistemas de radiocomunicación en la banda de HF.....	14
Figura 2.1	Cuantificación de servicios de espectro radioeléctrico distribuidos en el intervalo de frecuencias de 2-54 MHz correspondiente al registro de la COFETEL.....	27
Figura 2.2	Distribución de usuarios de espectro radioeléctrico atribuidos legalmente en el intervalo de frecuencias de 2-54 MHz correspondiente al CNAF.....	29
Figura 3.1	Comparación de propuestas para regular las emisiones de BPL.....	36
Figura 4.1	Configuración de equipo bajo prueba para medición de perturbaciones radiadas en el intervalo de frecuencias de 10 Hz hasta 1000 MHz.....	43
Figura 4.2	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.....	45
Figura 4.3	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.....	46
Figura 4.4	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma vertical.....	47
Figura 4.5	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma vertical.....	48
Figura 4.6	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.....	49
Figura 4.7	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma vertical.....	50
Figura 4.8	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.....	51
Figura 4.9	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.....	51
Figura 4.10	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma vertical.....	52
Figura 4.11	Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma vertical.....	53
Figura 4.12	Diagrama de medición de SINAD en el equipo HF frente al sistema BPL de baja tensión	55
Figura 4.13	Niveles de SINAD en el equipo radioreceptor sin y con tráfico de BPL.....	56
Figura 4.14	Croquis de instalación y conexión de los equipos.....	59
Figura 4.15	Diagrama de monitoreo para identificar las frecuencias libres y sin uso en el espectro radioeléctrico.....	61
Figura 4.16	Diagrama de medición sobre la afectación de las señales de radiocomunicación por el sistema BPL.....	63
Figura 4.17	Resultado de la medición en 5 MHz.....	66
Figura 4.18	Resultado de la medición en 10 MHz.....	67
Figura 4.19	Resultado de la medición en 15 MHz.....	68
Figura 4.20	Resultado de la medición en 20 MHz.....	69
Figura 4.21	Resultado de la medición en 21.86 MHz.....	70
Figura 4.22	Resultado de la medición en 25.6 MHz.....	71
Figura 4.23	Resultado de la medición en 27.75 MHz.....	72

INTRODUCCIÓN

Dadas las experiencias generadas en el campo de las telecomunicaciones, se identifica una nueva opción tecnológica que permite el aprovechamiento de las redes de distribución de energía eléctrica ya existentes, conocido en muchos países con el nombre de **PLC** (Power Line Communication, comunicación por línea de potencia), **BPL** (Broadband over Power Line, Sistemas de Acceso de Banda Ancha por Línea Eléctrica) o **PLT** (Power Line Telecommunication, comunicación por línea de potencia). El término más común es PLC. Sin embargo, se puede confundir con el acrónimo de Programmable Logical Control (PLC) término muy conocido en la automatización industrial. El término PLT es más usado en la Comunidad Europea. Por lo tanto, en este trabajo se adopta el término BPL, denominación que tiene su origen en Estados Unidos.

La transmisión de datos a través de la línea de potencia ha sido objeto de gran atención en los últimos años, particularmente en las empresas que generan y distribuyen la energía eléctrica. Inicialmente la tecnología era una herramienta para las empresas encargadas de generar y distribuir el servicio de energía eléctrica a través de la red de distribución de energía eléctrica disponible. Se utilizaban señales de baja frecuencia, en aplicaciones asíncronas para controlar diferentes dispositivos dentro de sus edificaciones, y al mismo tiempo se empleaban para monitorear variables como el rendimiento, control de la red eléctrica y lectura de contadores.

A partir de estudios que determinaron que la tecnología podría brindar servicios de conectividad de banda ancha de alta velocidad para envíos de datos, señales de control y/o información a través de las redes de distribución eléctrica entre dos o más estaciones de trabajo, se empezaron a realizar pruebas que consistían en la transmisión de señales con frecuencias más elevadas para mejorar el aprovechamiento de la red eléctrica.

El propósito de la BPL es ofrecer servicios de telecomunicaciones basado en tecnología IP (Internet Protocol), aunado con otros servicios como voz, video, etc. Sin embargo, se han hallado diferentes niveles de complejidad para la gestión y operación de sistemas eléctricos, la caracterización de los canales de comunicación y la forma de enfrentar los problemas de transmisión que, son los retos más importantes para desarrollar esta tecnología capaz de lograr comunicaciones de alta capacidad, velocidad y disponibilidad.

Existe un ímpetu de los proveedores de servicios de electricidad por ofrecer el medio de comunicación más extenso en el mundo, lo cual ha permitido a grupos de trabajos tecnológicos y administrativos a enfocar sus estudios en la viabilidad tecnológica, ya que el sistema de distribución de energía eléctrica no fue diseñado para conducir señales de alta frecuencia. Los estudios técnicos realizados por algunos proveedores se enfocan a los niveles de emisión electromagnética que genera el sistema BPL, la información obtenida es

exclusiva sin acceso al público. Respecto al marco normativo internacional, aún se encuentra en fase de desarrollo, sin embargo, existen algunas recomendaciones por parte de organismos regionales de telecomunicaciones interesados en el desarrollo de la tecnología BPL. Estas recomendaciones se presentan en el capítulo III.

Uno de los problemas que más preocupa son los niveles de perturbaciones electromagnéticas indeseadas que se generan fortuitamente al momento de utilizar la red eléctrica como un medio de comunicación. Estas perturbaciones pueden degradar el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema que comparte el mismo espectro radioeléctrico cuando señales de alta frecuencia fluyen sobre la línea eléctrica. Este fenómeno se clasifica en dos tipos, **perturbaciones conducidas y radiadas**. Las perturbaciones radiadas o emisiones radiadas son el mayor problema que presenta la tecnología BPL. Se considera que la mejor frecuencia de operación de los sistemas de BPL se encuentra en el intervalo de 1.705 a 80 MHz, sin embargo, pueden causar interferencias electromagnéticas en este intervalo. Revisando el cuadro nacional de atribución de frecuencias, en este intervalo existen muchos servicios de radiocomunicación como describe el capítulo II. Por lo tanto, es necesaria una investigación sobre el impacto que puede tener esta tecnología sobre los sistemas de radiocomunicación que están en este intervalo de frecuencia de acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Lo anterior son los motivos que dieron origen a este trabajo de investigación denominado **“Impacto en los servicios de radiocomunicación debido a la introducción de comunicaciones de banda ancha sobre líneas de potencia eléctrica (BPL)”**. Para analizar este impacto es necesario realizar pruebas de medición de emisiones electromagnéticas bajo los criterios de Equipo de Tecnología de la Información tales como la CISPR 22 y la FCC Parte 15, Subparte B para radiadores no intencionales y considerar el grado de afectación al que pueden ser objeto los sistemas de radiocomunicación en este intervalo.

El capítulo uno presenta el estado que guarda la tecnología de la comunicación sobre la línea de potencia eléctrica. Además introduce algunas generalidades como las ventajas y desventajas, los fenómenos de propagación que se presenta en la banda de HF y las diferentes propuestas sobre límites que pueden ser permisibles las perturbaciones radiadas por sistema BPL.

El capítulo dos se desarrolla una investigación sobre los servicios de radiocomunicación que están atribuidos en la banda de MF, HF y VHF integradas en el CNAF y el número de usuarios que están integrados en estas bandas según fuentes de COFETEL

El capítulo tres exhibe el estado actual sobre la normalización de la tecnología BPL, las diferentes propuestas de algunos países europeos y de Estados Unidos sobre los niveles de perturbaciones que pueden ser aceptados.

En el capítulo cuatro se expone el desarrollo de las mediciones realizadas sobre sistema BPL y sus resultados de la misma. Este capítulo se divide en mediciones de perturbaciones radiadas realizadas en una cámara semianecóica, mediciones de SINAD

realizadas en un laboratorio de telecomunicaciones y las mediciones del nivel porcentual de interferencias en un equipo de radiocomunicación.

El capítulo cinco presenta las conclusiones obtenidas a través de la investigación y las recomendaciones para trabajos posteriores.

El apéndice A contiene una Tabla de usuarios reconocidos por la COFETEL en el intervalo de 2 a 54 MHz.

El apéndice B contiene las fotografías tomadas en el sitio de pruebas de perturbaciones radiadas.

En el apéndice C se presenta las fotografías tomadas en el sitio de pruebas de SINAD.

En el apéndice D se exhibe una serie de imágenes, las cuales son resultados de las mediciones de la afectación del sistema BPL sobre un equipo de radiocomunicación en las frecuencias 5, 10, 15, 20, 21.86, 25.60 y 27.75 MHz.

El apéndice E contiene el código fuente en lenguaje MATLAB que se utiliza para evaluar el nivel porcentual de las interferencias y la visualización del espectro fuera de banda.

Las referencias documentales son extraídas de sitios de Internet, algunas normas y recomendaciones nacionales e internacionales enfocadas a Equipo de Tecnología de la Información (ETI) y libros que abordan el tema de interferencias electromagnéticas.

ANTECEDENTES

El sistema de comunicación sobre la red de distribución de energía eléctrica ha sido utilizado por empresas eléctricas desde hace muchos años. Inicialmente fueron utilizados para transmitir señales de comunicación relacionadas con sus propias necesidades, especialmente en la protección de las líneas de transmisión de alta tensión; sistemas simples de telemetría, supervisión y control de sistemas; y canales especiales de voz relacionados con la operación del mismo. Las capacidades y velocidades de transmisión eran comparativamente bajas, las frecuencias portadoras se ubicaban por debajo de 2 o 3 MHz. Habitualmente se utilizaban para cubrir distancias significativas, lo cual se lograba aislando los cables eléctricos a la frecuencia portadora mediante la utilización de trampas de ondas y acoplando las señales de comunicación por medio de condensadores capaces de soportar los voltajes de línea eléctrica.

Pero fue en 1997, cuando las compañías United Utilities de Canadá, y Northern Telecom de Inglaterra, presentaron al mercado una tecnología que podía conseguir que la Internet fuera accesible desde la red eléctrica. Desde entonces, las compañías eléctricas comenzaron a preocuparse por sacar mayor rendimiento a sus redes y han sido numerosas las iniciativas en el sector para llevar a cabo un despliegue masivo. Después fueron los alemanes los que se unieron a la carrera para el desarrollo de ésta tecnología. A finales de 1999 y principios de 2000 España ingresó también en esta disputa a través de la empresa Endesa. En la actualidad, en algunos países como Estados Unidos, Austria o Suiza se ofrecen servicios básicos con un número relativamente bajo de usuarios. Alemania fue el primer país en ofrecer servicios comerciales a través de la empresa pionera RWE por unos 35 euros al mes, alcanzando en el 2001 los 20.000 abonados. Esto explica que los principales suministradores europeos de estos equipos fueran Siemens y Ascom de Alemania y Suiza, respectivamente. Actualmente la implementación de la tecnología BPL ofrece un gran ancho de banda, lo que permite tener acceso a varios servicios para el hogar y la oficina [1].

México no ha quedado al margen sobre la implementación del sistema. En el año 2003 la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en colaboración con el Instituto Politécnico Nacional y Grupo IUSA, desarrollaron una prueba piloto en Jocotitlán, Estado de México y Morelia, Michoacán en donde se ofrece el servicio de acceso a Internet a 80 y 700 casas, respectivamente. La compañía Alestra AT&T realizó las pruebas de campo en la ciudad de Monterrey, Nuevo León y las empresas Ascom Power Line Communication y Endesa han efectuado otra prueba en la ciudad de Mérida, Yucatán.

El 2 de febrero del 2005 la CFE anunció la presentación de los avances del proyecto para transmitir voz y datos a través de la red de suministro eléctrico, el mismo año las compañías española TecnoCom y el grupo industrial mexicano IUSA, iniciaban otro proyecto conjunto para implantar la tecnología a una velocidad de 200 Mbps. La CFE

designó la ciudad de Morelia para realizar el estudio de 2 años, antes de que iniciara la comercialización de servicios a nivel nacional [2].

El 13 de septiembre de 2006, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) emitió una opinión favorable a la solicitud presentada por la CFE el 14 de noviembre de 2005 para que pueda instalar, operar y explotar una red pública de telecomunicaciones en todo el territorio nacional a través de la red de distribución de energía eléctrica [3].

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto generado sobre servicios de radiocomunicación que operan en apego al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias debido a la introducción de Sistemas de Comunicación de Banda Ancha sobre Líneas de Baja Potencia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar el impacto de la tecnología BPL sobre los sistemas de radiocomunicación en el intervalo de frecuencia de 2 a 80 MHz.

Documentar las propuestas emitidas por algunos órganos internacionales de los niveles de perturbación radioeléctrica sobre el sistema BPL.

Medir los niveles de perturbaciones radioeléctricas generados por los equipos BPL para uso doméstico.

Realizar recomendaciones para la posible introducción a la tecnología BPL en México.

Capítulo 1

TECNOLOGÍA BPL

1.1 INTRODUCCIÓN

El uso de la red eléctrica de corriente alterna como un medio de comunicación tiene una larga historia y se ha sugerido desde décadas anteriores. De hecho, se ha utilizado como medio de comunicación de datos de baja velocidad para control de la misma. No era posible la comunicación de alta velocidad por la presencia de ruidos e inestabilidad en su impedancia, acoplamientos electromagnéticos incontrolables y las emisiones radiadas y conducidas que presentaba. Además, la infraestructura de red de distribución de energía eléctrica no fue diseñada para el propósito de comunicación de banda ancha. Sin embargo, en los últimos siete años la tecnología de Comunicaciones de Banda Ancha por la Línea de Potencia ha tenido grandes avances. Gracias a las nuevas técnicas de modulación, procesamiento digital de señales, detección y corrección de errores, se han eliminado muchos de los problemas.

Uno de los problemas que más preocupa en la tecnología BPL son las perturbaciones radiadas. Una vez resueltos los problemas técnicos y administrativos se considera que la tecnología soportará múltiples servicios como son: Internet, voz sobre IP, televisión digital, domótica, etc. Además, su disponibilidad mundial, efectividad en costos y facilidad de instalación, son algunas de sus ventajas.

En México, como en otros países, se pretende aprovechar la infraestructura de la red eléctrica de baja, media y alta tensión para implementar los servicios de banda ancha. Por lo tanto, es necesaria una investigación sobre los niveles de perturbación que genera la

tecnología BPL, identificar los servicios y usuarios del espectro radioeléctrico y el nivel de afectación sobre los usuarios de radiocomunicación en la banda de HF.

Este capítulo introduce el estado actual que guarda la tecnología BPL, comenzando con la definición y la clasificación, la característica de la red de distribución de eléctrica, algunas ventajas y desventajas de la tecnología y los principales problemas que enfrenta actualmente.

1.2 DEFINICIONES

No existe una definición clara y completa: Según la Comisión Federal de Telecomunicaciones de Estados Unidos conocido por sus iniciales FCC, el acceso a BPL se define como el sistema de corriente portadora instalada y operada sobre un sistema de distribución de energía eléctrica que radía en forma no intencionada, emitiendo energías de radiofrecuencias entre 1.705 y 80 MHz sobre la línea de media y baja tensión para proporcionar comunicaciones de banda ancha [5]. Esta misma definición ha sido adoptada por la ACA (Australian Communications Authority) [6] y CRTC (Canadian Radio-television and Telecommunications Commission) [7].

En este trabajo la definimos de una manera básica como: una tecnología capaz de transmitir señales de datos a través de la instalación eléctrica de media y baja tensión, dentro y fuera de las casas habitación y dentro de edificios, con el fin de proporcionar el acceso de Internet de banda ancha a usuarios domésticos y empresas [8]

1.2.1 Clasificación de BPL

Se han identificado tres tipos diferentes de comunicaciones sobre la red de distribución de energía eléctrica en base a la jerarquía de corriente alterna:

Control BPL. Este sistema es usado por las compañías de distribución eléctrica para controlar sus equipos dentro de sus edificaciones, y al mismo tiempo, para monitorear variables como el rendimiento y control de la red eléctrica, así como la lectura de contadores, y opera debajo de 500 kHz.

Acceso de banda ancha sobre la red eléctrica doméstica o In-House Broadband over Power line. Es un sistema de corriente portadora, que envía energía de radiofrecuencia por conducción sobre la línea de baja potencia, operada o controlada por el proveedor de servicio eléctrico. La red de distribución de energía eléctrica puede ser aérea, subterránea u oculta dentro de la pared.

Acceso de banda ancha sobre líneas de potencia (Acceso a BPL). Es un sistema de corriente portadora, instalado y operado sobre la red de distribución de energía eléctrica, que envía energía de radiofrecuencia en el intervalo de frecuencia de 1.705 a 80 MHz sobre la línea de media o baja tensión para proporcionar comunicación de banda ancha.

1.3 LA TECNOLOGÍA DE BPL

En los últimos años, la disponibilidad de las capacidades de procesamiento digital de señales y el desarrollo de sofisticadas técnicas de modulación, codificación, esquemas de corrección de error han permitido la introducción de nuevos diseños de dispositivos de corriente portadora de baja potencia. Estos diseños superan antiguas limitaciones de ancho de banda causados por el ruido inherente y el desacoplo de impedancia que son comunes en las líneas de potencia. Además, incluyen el uso de espectro disperso o técnicas de múltiples portadoras que emplean algoritmos altamente adaptativos para disminuir la cantidad de ruido sobre la línea de potencia. También se incorpora el uso de técnicas de turbo códigos, Reed Solomon concatenados y códigos de convolución empleando el algoritmo Viterbi, con esto se está mejorando la capacidad del canal acercándose a la famosa ley de Shannon [10].

$$C = B \log \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (1.1)$$

donde

C es la capacidad máxima del canal en bits/segundo

B es el ancho de banda del canal en Hz

S es la potencia de la señal en watts

N es la potencia de ruido, también en watts.

Los sistemas de acceso BPL y las BPL de redes domésticas operan en media y baja tensión, respectivamente, tal como se describe en la sección anterior. La tecnología BPL sufre de una ausencia de reconocimiento legal por órganos internacionales de telecomunicaciones y en muchos casos carece de recomendaciones nacionales para su operabilidad. Consecuentemente, existe poca información técnica detallada y publicada, los fabricantes de dispositivos BPL mantienen una postura discreta con respecto a los detalles técnicos de sus equipos. Por ejemplo, en Estados Unidos obedecen las normas de energía eléctrica establecidas por el IEC (International Electrotechnical Committee o Comité Internacional Electrotécnico), cada compañía de suministro de energía eléctrica tiene amplia flexibilidad en cómo implementan sus propios medios de transmisión. Así, será difícil dar un control a los sistemas por la estructura que presentan las líneas de potencia. Forzosamente se tiene que hacer mucho esfuerzo para estandarizar, además de corregir, los problemas técnicos que aún se presentan.

1.4 CARACTERÍSTICAS DE RED DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El sistema de distribución de energía eléctrica comprende tres fases jerárquicas de corriente alterna; alta, media y baja tensión. Las líneas de alta tensión están conectadas con las estaciones de generación de electricidad que suministran niveles de potencia mayores a 35

kilovolts. Mientras que las líneas de media tensión, están conectadas de la estación de distribución con los transformadores ubicados en los postes, con suministro mayor a un kilovolt, pero menores o iguales a 35 kilovolts. Por último, las líneas de baja tensión están conectadas entre los transformadores y los consumidores como son negocios y casas, los niveles de potencia son iguales o menores a un kilovolt, gráficamente se puede ver en la Figura 1.1 la distribución de la red eléctrica.

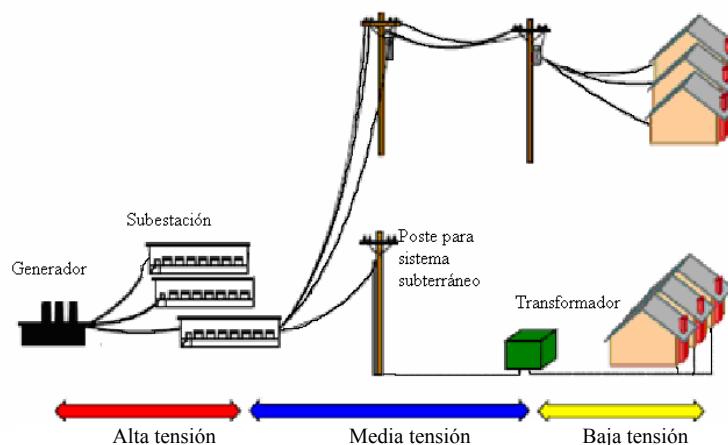


Figura 1.1. Arquitectura de un sistema de distribución de energía eléctrica

Los cables de la red de distribución de energía eléctrica se han diseñado para transmitir una frecuencia promedio de 50 a 60 Hz. Este intervalo es conocido como frecuencia extremadamente baja, ELF, como lo muestra el espectro electromagnético en la Figura 1.2. La mayoría de los sistemas BPL están diseñados para operar en el intervalo de frecuencia de 1.705 a 30 MHz, sobre redes de distribución de energía eléctrica de media y baja tensión. Este intervalo de frecuencia constituye un recurso natural limitado, en él se encuentra la banda de altas frecuencias, y es utilizada ampliamente en estaciones fijas y móviles de radiocomunicaciones nacionales e internacionales.

La transmisión de datos en alta frecuencia, HF, sobre cables de las líneas de potencia técnicamente presenta varios retos. Además, de que la red de distribución de energía es uno de los entornos más contaminados, por lo tanto, presenta grandes atenuaciones y las condiciones atmosféricas, como la temperatura, humedad, presión barométrica, relámpagos y manchas solares, todos tienen un efecto. La ingeniería de potencia de líneas de transmisión es un campo favorable para especializarse sobre este tema.

A pesar de los obstáculos mencionados, las líneas de media tensión son excelentes portadoras de energía RF. Así, una transmisión de baja potencia de sólo 10 watts puede ser suficiente para alcanzar distancias de 500 kilómetros o más [10].

El espectro de frecuencias.

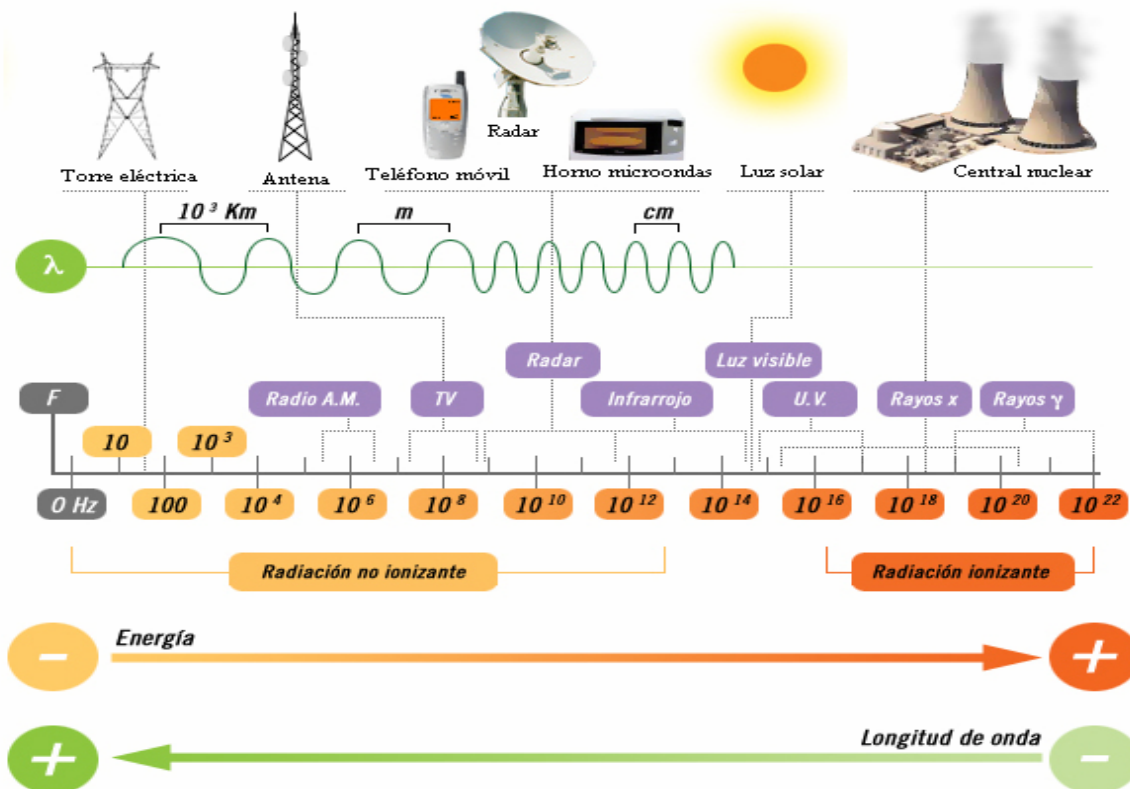


Figura 1.2. Espectro electromagnético

1.5 VENTAJAS DE BPL

La utilización del sistema de distribución de energía eléctrica como un medio de comunicación puede ser un enorme potencial para dar acceso de banda ancha a los usuarios ya que las tomas de corriente están universalmente disponibles. Ésta es una de las más grandes ventajas que ofrece la tecnología BPL. La infraestructura existente puede presentar un ahorro de costos de inversión para que las compañías de suministro eléctrico implementen esta tecnología. Actualmente existen organismos reguladores y compañías de suministro de energía eléctrica que promueven sistemas de comunicación por línea eléctrica. Tal es el caso de la FCC, que ha señalado que BPL puede proporcionar los recursos para desplegar los servicios de banda ancha en áreas rurales donde el acceso de sistemas de comunicación aún es insuficiente. La FCC inició un proceso de investigación técnica en 2004 junto con National Telecommunications and Information Administration (NTIA) para impulsar el despliegue de un “tercer alambre”, promocionado hacia los consumidores urbanos para competir con DSL y proveedores de servicios de comunicación por cable. En la Figura 1.3a se muestra el resultado que está teniendo la tecnología BPL en Estados Unidos. A nivel mundial ha habido un crecimiento notable, tan sólo en el año 2004 había más de 100 iniciativas en 40 países, como se observa en la Figura 1.3b.

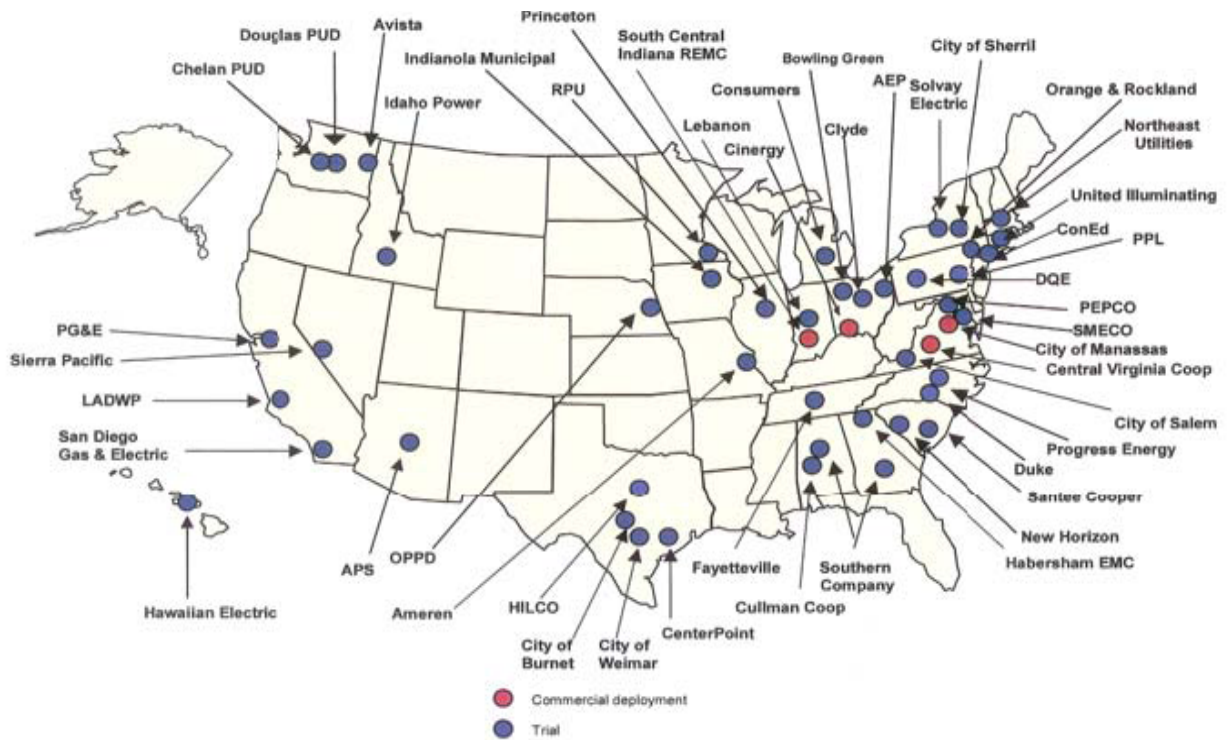


Figura 1.3a. Despliegue de BPL en Estados Unidos en 2006

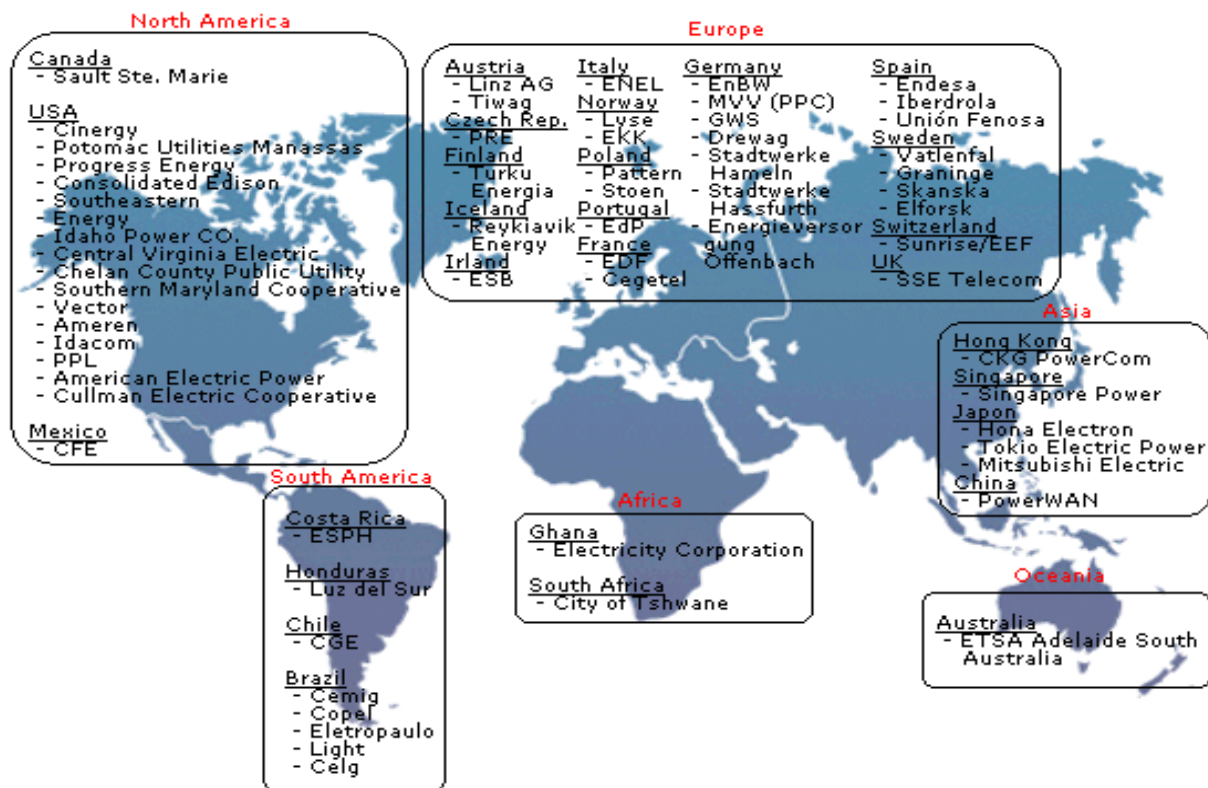


Figura 1.3b. Comercialización y pruebas de BPL en el mundo en 2004.

1.6 PROBLEMAS EN BPL

La introducción de BPL alrededor del mundo no ha sido aceptada exitosamente en algunos países debido a las preocupaciones de la interferencia que puede provocar con los equipos de radiocomunicación que operan en la banda de HF. Las características de interferencia radioeléctrica de un sistema se dividen en dos grandes categorías, interferencias **conducidas y radiadas**. Las emisiones conducidas se excluyen en el sistema BPL ya que no presentan problemas de seguridad. En cambio, las emisiones radiadas pueden provocar interferencias hacia los equipos de radiocomunicación ya que el cable eléctrico emite radiación electromagnética no intencional cuando opera como un medio de comunicación.

1.6.1 Campo radiado

La radiación electromagnética se clasifica en **radiación de campo cercano** y la **radiación de campo lejano**. La radiación de campo cercano se define como la región cercana a una antena en donde la distribución del campo angular es dependiente de la distancia de la antena. La radiación de campo lejano se define normalmente como la radiación a una distancia D mayor que $2D^2/\lambda$ de la fuente, donde λ es la longitud de onda y D es la dimensión máxima de la antena o la dimensión del equipo bajo prueba. La intensidad del campo eléctrico y magnético es igual a la impedancia característica del medio, que es el aire o vacío, esto se define como la ecuación 1.2 [11].

$$Z_0 = \frac{E}{H} \quad (1.2)$$

donde

Z_0 es la impedancia en el vacío equivalente a 377Ω

E es la intensidad del campo eléctrico V/m

H es la intensidad del campo magnético A/m

En el caso de los sistemas BPL pueden representarse tres casos de campos electromagnéticos: el modo guiado, el modo de radiación, y acopladores de campo, como se muestra en la Figura 1.4. El modo guiado es el responsable de transportar la energía de la señal a lo largo de la línea de potencia eléctrica. Esta energía se deteriora rápidamente en direcciones perpendiculares al alambre, pero lentamente a lo largo de su longitud. El modo de radiación hacia el espacio, que no es el propósito de los sistemas de BPL, por lo tanto, esta radiación se conoce como radiación no intencional o no deseada. Esta puede ser una fuente de interferencia de gran alcance ya que la intensidad del campo se deteriora despacio. Los acopladores de campo están asociados con el propio acoplador en la línea de media tensión. Los efectos del campo cercano permanecen a lo largo de la longitud del cable y no limitan la operación del acoplador. Pero el campo lejano puede ser muy problemático, debido a las emisiones de HF [12].

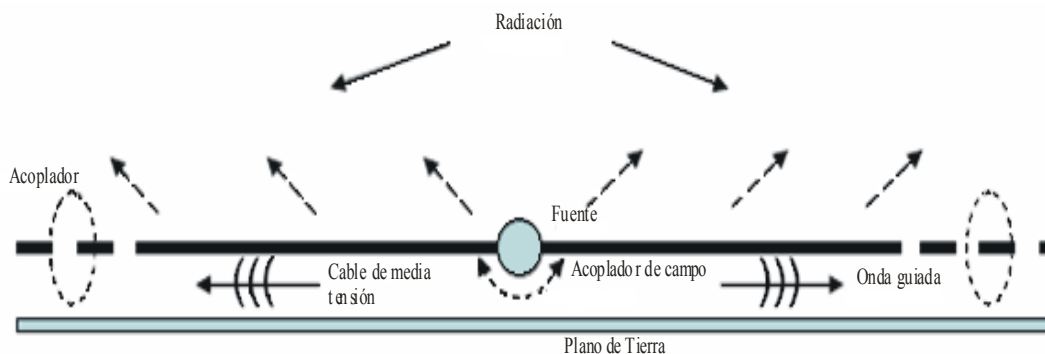


Figura 1.4. Modelo electromagnético de BPL

1.6.2 Usuarios del espectro electromagnético

El espectro radioeléctrico es un recurso natural, valioso y limitado. Dadas las características de propagación de HF, y las frecuencias iniciales de la banda VHF (Very High Frequency), estas se pueden utilizar para enlaces de comunicación de largo alcance en todo el mundo. La Comisión Federal de Telecomunicaciones en México cuenta con más de 25,000 usuarios registrados legalmente en el intervalo de frecuencias de 2 – 50 MHz, entre ellos se encuentran los siguientes servicios: radiodifusión pública, servicios de seguridad, militares, servicios secretos, radioaficionados, radiodifusión internacional en onda corta, aeronáutica, marítima, etc. Respecto a las frecuencias menores de VHF se tienen los servicios de bomberos, policía, sistemas de radiolocalización, etc. En el capítulo II se detallan los servicios atribuidos en cada banda de frecuencias.

1.6.3 Problemas de ruido

La introducción de BPL aumenta los problemas relacionados a determinar los orígenes de los ruidos. Desde 1951 la ITU-R ha estudiado, y publicado los orígenes del ruido de radiofrecuencia, y ha identificado que el ruido externo puede ser causado por una variedad de factores que pueden afectar el buen funcionamiento de un sistema receptor:

- Radiación por relámpago (ruido atmosférico debido al relámpago),
- Radiación no intencional de maquinarias eléctricas, equipos eléctricos y electrónicos, la línea de transmisión de potencia o el encendido del motor de combustión interna (ruido artificial),
- Emisiones de gases atmosféricos,
- Variación de las manchas solares

La Figura 1.5 describe los valores promedios sobre los niveles de los diferentes ruidos en función de frecuencia ruido artificial, residencial, rural, ambiente tranquilo y ruido galáctico, recomendado por ITU-R.372.8. Los resultados son linealmente consistentes al usar la ecuación 1.3. Con ésta ecuación se puede calcular el ruido artificial promedio [13].

$$F_{am} = c - d \log f \quad (1.3)$$

donde

f es la frecuencia expresada en MHz.

c y d son los valores constantes indicados en la Tabla 1.1 sobre el tipo de ambiente.

Tabla 1.1 Valores de las constantes c y d

Tipo de ambiente	c	d
Comercial (curva A)	76.8	27.7
Residencial (curva B)	72.5	27.7
Rural (curva C)	67.2	27.7
Ambiente tranquilo (curva D)	53.6	28.6
Ruido galáctico (curva E)	52.0	23.0

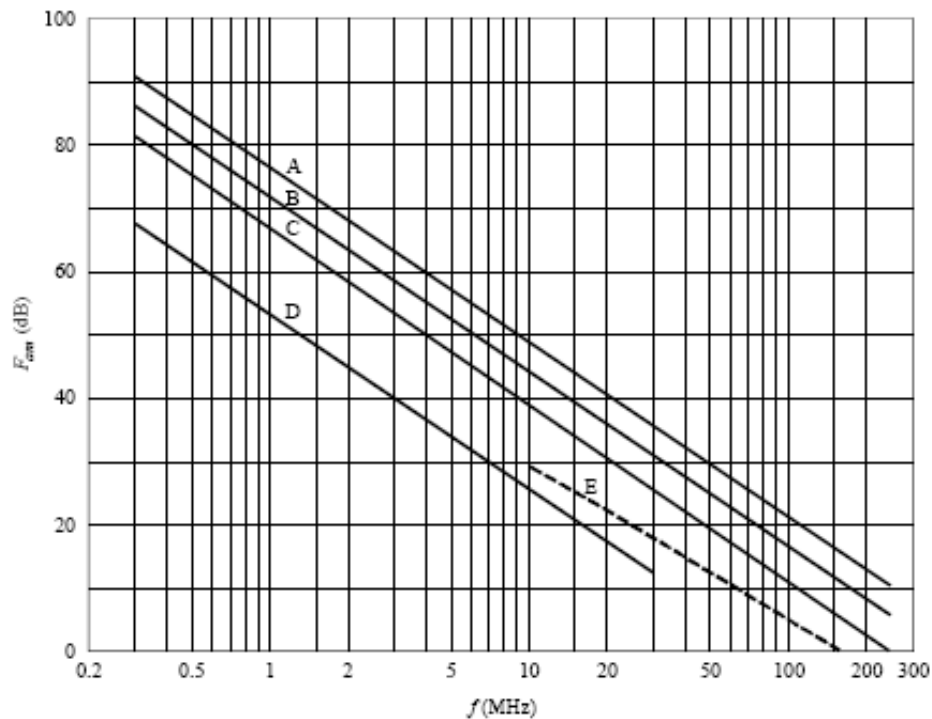


Figura 1.5. Valores promedio de la potencia del ruido artificial. Tipos de ambiente: A, comercial; B, residencial; C, rural; D, ambiente tranquilo; E, ruido galáctico.

Se puede observar que arriba de 10 MHz, el ruido artificial es predominante y enfocaremos nuestro interés sobre la banda de operación de los sistemas BPL.

1.6.4 Aspecto legal de BPL

La tecnología de BPL aún se encuentra en fase de desarrollo aunque ya hay algunas empresas proveedores de servicios de banda ancha, como se observa en la Figura 1.3 a y b. Actualmente, no existe ninguna norma reconocida por las organizaciones de normas internacionales para tecnología BPL, tampoco existen procedimientos claros sobre límites y métodos de medición de las perturbaciones radioeléctricas. Esto se verá con más detalle en el capítulo III.

Sin embargo, algunos países promotores están haciendo enormes esfuerzos en la operación e investigación de los problemas de BPL. Estados Unidos es uno de ellos, que ha avanzado más en el aspecto de reglamentación y en la comercialización de servicios. A través de la Comisión Federal de Comunicaciones han emitido un reporte sobre los límites y métodos de medición de las perturbaciones radioeléctricas que debe ser considerado para la tecnología BPL.

1.6.5 Interferencia electromagnética EMI

La interferencia electromagnética es la perturbación que ocurre en un receptor de radio o cualquier otro circuito eléctrico causada por la radiación electromagnética producida por una fuente externa. Este fenómeno se conoce como EMI (ElectroMagnetic Interference) o RFI (Radio Frequency Interference). Las interferencias electromagnéticas pueden interrumpir, degradar o limitar el rendimiento del circuito.

Para facilitar la comprensión de dicho concepto, las interferencias se dividen en tres partes:

- Origen, fuente o generador de las interferencias
- Medios de propagación o vías de acoplamiento de las interferencias
- Receptores afectados por las interferencias.

Para que las interferencias sean un problema, debe existir un generador de perturbaciones, un circuito afectado por ellas o receptor que sea susceptible a las EMI, y un camino de acoplamiento que las transmita a un circuito afectado [11], como lo muestra la Figura 1.6.

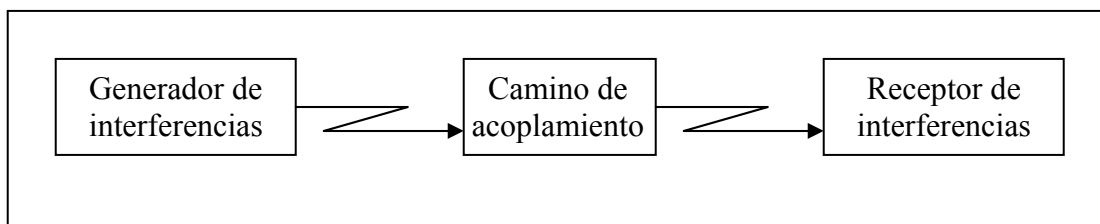


Figura 1.6. Partes principales de todos los fenómenos de interferencia electromagnética.

1.6.5.1 Clasificación de perturbaciones

La IEC (International Electrotechnical Commission o Comisión Electrotécnica Internacional, CEI) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y de tecnologías relacionadas [14]. Clasifica las perturbaciones electromagnéticas en seis categorías principales, dos se refieren al fenómeno conducidos, dos son radiadas y otras son las descargas electrostáticas (Electrostatic Discharge, ESD) y una más cubre los transitorios electromagnéticos de alta intensidad como se muestra en la siguiente Figura 1.7 [15].

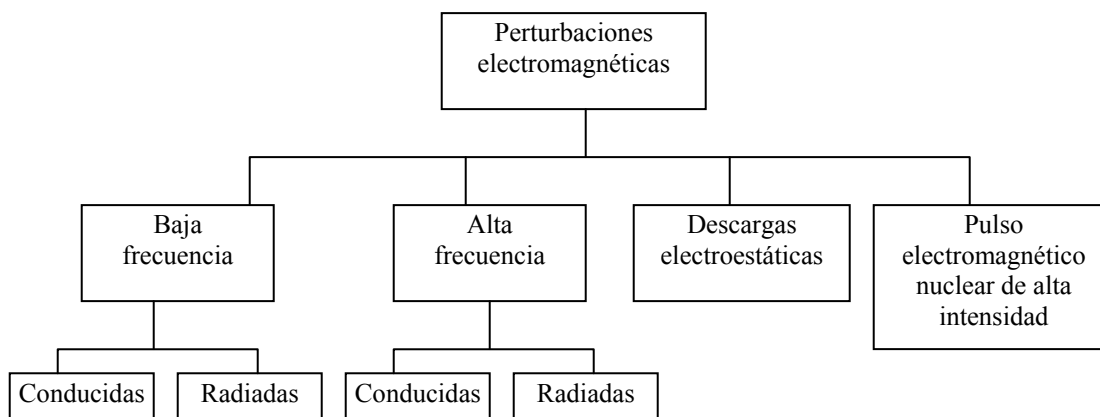


Figura 1.7. Clasificación de perturbaciones electromagnéticas.

Las emisiones interferentes se acoplan desde una fuente de interferencia hacia un dispositivo susceptible, a través de una o más trayectorias que pueden ser por conducción o radiación. Las emisiones conducidas son señales que se acoplan entre circuitos, equipos o sistemas a través de cables o alambres, suministro eléctrico, línea de datos, etc; estas señales pueden ser tensiones o corrientes que se propagan a través del conductor. Las emisiones conducidas son especialmente a frecuencias por debajo de los 30 MHz o de baja frecuencia. Mientras que las interferencias electromagnéticas radiadas se refieren al acoplamiento entre circuitos, equipos o sistemas a través de la propagación por el espacio que son radiadas desde una fuente de EMI y recibidos por circuitos, equipos o sistemas susceptibles, y es considerado desde 30 a 1000 MHz. Cuando un equipo genera emisiones interferentes en estas bandas pueden degradar el funcionamiento del equipo receptor.

1.6.5.2 Fuentes de interferencias

La fuente interferente puede ser artificial o natural, es decir, puede ser generada desde circuitos eléctricos o fenómenos naturales. A continuación se clasifican como [15].

- Natural
 - Terrestre
 - ✓ Atmosférico

- ✓ Precipitación estática
- Extraterrestre
 - ✓ Actividad solar
 - ✓ Actividad cósmica
 - ✓ Estrellas
- Hechos por el hombre (artificial)
 - Comunicaciones Electrónicas
 - ✓ Radiodifusión
 - ✓ Enlaces terrestres
 - ✓ Navegación
 - ✓ Radar
 - ✓ Comunicaciones móviles
 - Potencia Eléctrica
 - ✓ Generación
 - ✓ Conversión
 - ✓ Transmisión
 - ✓ Distribución
 - Máquinas y Herramientas
 - ✓ Herramientas de potencia
 - ✓ Equipos de oficina y comercial
 - ✓ Máquinas comerciales
 - Sistemas de ignición
 - ✓ Motores
 - ✓ Vehículos
 - ✓ Herramientas
 - Industrial y consumidor
 - ✓ Soldaduras y calentadores
 - ✓ Limpiadores ultrasónicos
 - ✓ Equipo médico
 - ✓ Controladores industriales y Computadoras
 - ✓ Iluminación

Las perturbaciones electromagnéticas pueden ser generadas intencionadamente, como sucede en sistemas de comunicaciones electrónicas tales como antenas, microondas y todo tipo de comunicaciones de radio. Sin embargo, existen equipos que generan perturbaciones electromagnéticas como un subproducto en el proceso de realizar su función principal, este tipo de interferencia se conoce como interferencia no intencional o indeseada. La normativa internacional de las perturbaciones radioeléctricas es regulada por la IEC a través del **CISPR** (Comité international spécial des perturbations radioélectriques, por sus siglas en francés) o Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas para intervalos de frecuencias de 30-1000 MHz [16].

La preocupación sobre las emisiones radiadas no intencionales que presenta BPL y la interferencia que pueden ocasionar hacia los equipos de radiocomunicación ha conducido

a la realización de una serie de pruebas y estudios alrededor del mundo sobre los niveles de emisión que presentan. En la Figura 1.8 [17] se muestran diferentes propuestas sobre los niveles de emisión electromagnética que pueden ser permisibles debido a la introducción de equipos BPL.

El desacuerdo es un obstáculo que tiene que superarse para que la tecnología BPL pueda florecer como un medio de comunicación apoyándose en las normas regionales e internacionales de interferencia electromagnética.

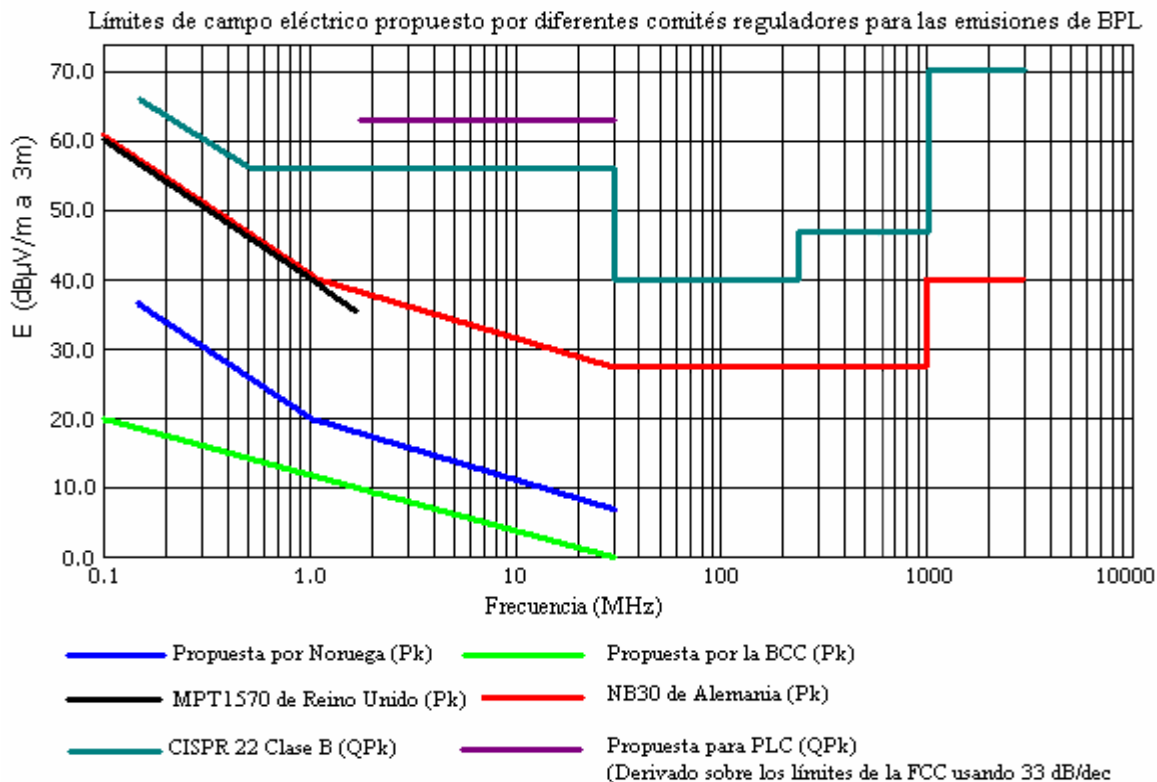


Figura 1.8. Propuestas sobre los Límites de Interferencia Electromagnética

1.6.6 Interferencia con HF

1.6.6.1 Propagación de HF

La comunicación de alta frecuencia HF u onda corta posee un método de radio transmisión única ya que tiene una característica de propagación peculiar. La radiofrecuencia, o espectro de frecuencia que cubre la banda de frecuencia HF es de 3 a 30 MHz, tiene la característica de propagarse a través de una onda de Tierra llamada también onda de superficie y por una onda de cielo u onda ionosférica. Esta última permite realizar comunicaciones interoceánicas, sin demasiada infraestructura como repetidores, es suficiente con los equipos en cada terminal del transmisor y receptor.

La onda de superficie se propaga sobre la Tierra y en el mar, alcanzando distancias de 160 Km. y 1000 Km. o más, respectivamente, esto depende de la potencia de RF, frecuencia de transmisión, tipo de antena, altura de la antena, ruido atmosférico, ruido artificial y la conductividad de la tierra, su alcance es variable según la hora del día y la estación del año. La onda ionosférica se propaga a través de la ionosfera y depende de su frecuencia. Sufrir reflexiones en las capas ionosféricas, y produciendo reflexiones sucesivas, hace que la onda se refleje nuevamente a la Tierra. Una parte de la energía se pierde como onda evanescente atravesando la ionosfera. La reflexión ionosférica permite la comunicación a enormes distancia que puede alcanzar desde 160 a 12,800 km. En la Figura 1.9 se muestran las características de propagación en la banda de HF [13].

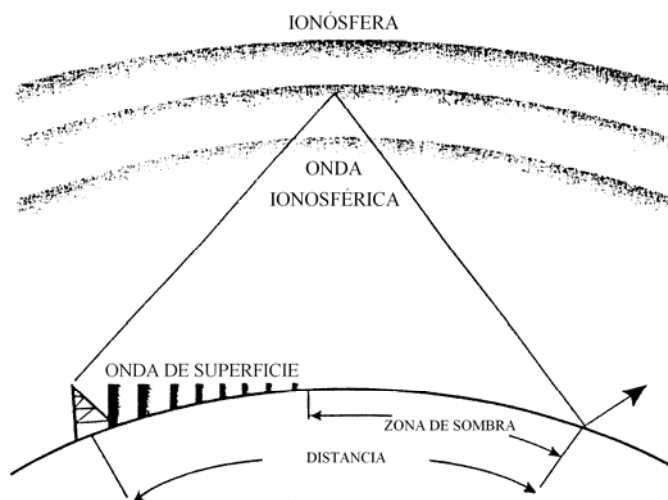


Figura 1.9. Zona de cobertura de los sistemas de radiocomunicación en la banda de HF

1.6.6.2 Interferencia de BPL

Según la Asociación Nacional de Radioaficionados, ARRL, el sistema de red de distribución de energía eléctrica puede radiar energía de radiofrecuencia por carencias de recubrimiento, torsión de los cables y por presentarse como tendido aéreo. Esto hace que actúe como antenas largas, por lo tanto, este es una fuente natural de interferencia electromagnética, aumentando la preocupación a los usuarios legalmente establecidos en el espectro radioeléctrico. De hecho, uno de los principales oponentes a la tecnología BPL son los radioaficionados [18].

Los servicios de radiocomunicación en la banda de HF pueden verse afectados por la operación de equipos BPL, como son los servicios navales, servicios de información de aeropuertos, radioaficionados, banda ciudadana usada por miles de transportistas y otros usuarios.

1.7 ARQUITECTURA DE BPL

La arquitectura de la tecnología BPL también está basada en el modelo **OSI** (International Organization for Standardization) conformada por siete capas. La primera capa define las características del sistema de distribución de energía eléctrica y la instalación de la red eléctrica domiciliaria. Una red de acceso BPL está compuesta de una estación base y un número de usuarios conectados vía módem. El módem es el principal dispositivo para realizar la comunicación entre usuarios de la misma arquitectura u otra como es el estándar IEEE 802.3 (Ethernet).

El problema que enfrenta BPL en el modelo OSI se encuentra en la capa física, la falta de normalización de la línea eléctrica como medio de comunicación y la subcapa MAC por la necesidad de compatibilidad de los diferentes equipos de BPL como son inyectores, repetidores y acopladores que han sido diseñados en una variedad de arquitecturas con técnicas de modulación diferentes [10].

El sistema de distribución de energía eléctrica es un medio que puede deteriorar la señal de comunicación, los factores pueden ser el ruido, múltiples trayectorias, no linealidad del canal, etc. Sin embargo, para contener este inconveniente en sistemas BPL se han desarrollado un número de tecnologías para espectro disperso como es la técnica de OFDM para soluciones en media y baja tensión, para señales de frecuencias de HF y VHF.

2.7.1 OFDM

La OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) es una técnica que transmite múltiples portadoras similar a la FDM pero ésta logra mayor eficiencia espectral, las operaciones se realizan en la capa física. Esta técnica ha sido adaptada por numerosos sistemas de telecomunicaciones, por mencionar algunos: ADSL, IEEE 802.11a /g, IEEE 802.16 a, etc.

La modulación OFDM es muy robusta frente a las señales con multitrayectorias (*multi-path*) muy habitual en los canales de radiodifusión, atenuaciones y en las interferencias de RF. Debido a las características de esta modulación, es capaz de recuperar la información entre distintas señales con diferentes retardos y amplitudes (*fading*) que llegan al receptor, por lo que existe la posibilidad de crear redes de radiodifusión de frecuencia única sin que existan problemas de interferencia.

Capítulo 2

SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN AFECTADOS POR BPL

2.1 INTRODUCCIÓN

El espectro radioeléctrico es un medio de transmisión que se utiliza para prestar servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, incluyendo aquellos que requieren de banda ancha. Sin embargo, el espectro radioeléctrico es un recurso finito y escaso. El espectro radioeléctrico para usos de servicios de telecomunicaciones se limita en el intervalo de frecuencias de 3000 Hertz a 300 Gigahertz. El espectro radioeléctrico está subdividido en 9 bandas de frecuencias que pueden ser compartidas por distintos concesionarios o permisionarios o por el público en general, para conducir servicios de radiocomunicaciones de un punto a otro punto o a varios puntos de una geografía determinada.

De acuerdo a las características de las bandas de frecuencias, se pueden prestar determinados servicios a través de ellas. Por ejemplo, existen bandas de frecuencias que permiten transmitir señales de manera más eficiente que requieren tener línea de vista (transmisiones satelitales). Otras que pueden atravesar materiales que se prestan para servicios como FM o telefonía celular. Existen aplicaciones para comunicaciones de distancias cortas, mientras que otras son mejores para servicios que requieren recorrer grandes distancias.

Los principales servicios de radiocomunicaciones que se prestan a través del espectro radioeléctrico son: fijo, móvil, móvil aeronáutico, móvil terrestre, radiodifusión, fijo para investigación espacial, aficionados, aficionados por satélite, y ayuda a la meteorología.

Una cierta banda de frecuencias está destinada a prestar uno o varios servicios de radiocomunicaciones. La atribución de servicios en las distintas bandas de frecuencias puede realizarse a título primario o secundario. Cuando un servicio está atribuido a título primario tiene preferencia para eliminar interferencias perjudiciales con otros sistemas de radiocomunicación. Cuando un servicio está atribuido a título secundario se tolera cierta interferencia entre sistemas de radiocomunicación. En otras palabras, los usos a título primario o secundario simplemente son criterios de prioridad en su uso. Las bandas de frecuencias, aún las concesionadas, generalmente tienen atribuidos varios servicios al mismo tiempo, sea a título primario o secundario [19].

2.2 SERVICIOS DE RADIOCOMUNICACIÓN EN EL CUADRO NACIONAL DE ATRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE MÉXICO EN EL INTERVALO DE 1.705-80 MHZ

En México, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) es el órgano regulador del espectro radioeléctrico en materia de telecomunicaciones, responsable de añadir, eliminar o modificar las atribuciones a una banda de frecuencias para permitir uno o varios servicios de radiocomunicaciones móvil, fijo, radiodifusión, radiolocalización, entre otros, a título primario o secundario, de acuerdo al tratado internacional denominado **“Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT”**.

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, CNAF, es el instrumento legal nacional que plasma los acuerdos del tratado internacional y también es el instrumento con el que cuenta el Estado para hacer uso y administrar de manera eficiente el espectro radioeléctrico. Durante las CMR (Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones que celebra la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, aproximadamente cada dos años, son el mecanismo legal mediante el cual se actualiza el tratado), cada país tiene derecho a proponer condiciones particulares para restringir o ampliar las atribuciones de bandas de frecuencias en su territorio y en la medida que estas condiciones sean razonables para la armonización regional o mundial del espectro radioeléctrico, estas pueden ser aprobadas por el concierto de naciones. La UIT ha dividido al mundo en tres regiones. México está incluido en la región 2. Esta división obedece al espectro radioeléctrico [20].

El intervalo de frecuencia de 1.7 a 80 MHz, que es donde opera BPL, comprende las frecuencias, la parte final de la banda de MF de 1.7-3.0 MHz, todas las frecuencias de la banda de HF de 3.0-30 MHz y una porción sobre la banda de frecuencias VHF de 30-80 MHz del espectro radioeléctrico. Como se describe en el capítulo anterior sobre propagación de HF, es posible realizar comunicaciones a grandes distancias, a cientos o miles de kilómetros usando las ondas ionosféricas, la variabilidad de propagación multitrayectoria y los niveles de ruido en el ambiente, son factores importantes. La propagación multitrayectoria está en función de la hora del día, estación del año y la ubicación geográfica. Sin embargo, la tecnología moderna, como el Establecimiento Automático de Enlace (ALE), ha posicionado a la comunicación en HF como muy confiable. En las frecuencias VHF las comunicaciones son más locales, generalmente están limitados en decenas de kilómetros.

Tabla 2.1 Servicios de radiocomunicación en el intervalo 1.7-80 MHz.

Fijo
Móvil
Móvil terrestre
Móvil marítimo
Móvil aeronáutico (R)
Móvil aeronáutico (OR)
Radiolocalización
Aficionados
Aficionados por satélite
Radioastronomía
Radiodifusión
Radionavegación aeronáutica
Frecuencias patrón y señales horarias
Operaciones espaciales
Radionavegación
Ayuda a la meteorología

El intervalo de frecuencia de 1.7-80 MHz integra una variedad de servicios de radiocomunicaciones que se adaptan a las características de propagación inherentes en éste intervalo. En total son 16, servicios de radiocomunicación que operan en el intervalo en el que la tecnología BPL emite radiaciones no intencionales, como se muestra en la Tabla 2.1.

2.3 CLASIFICACIÓN DE ATRIBUCIÓN DE SERVICIOS

En México, de acuerdo con el CNAF, en el intervalo de 1.705 a 80 MHz. se compone de 131 bandas de frecuencias, ver apéndice A. Cada banda puede estar asignada para uso federal y no federal, o compartido. Las asignaciones del espectro incluyen en muchos casos bandas compartidas entre los usuarios del uso federal y no federal, y de diferentes servicios de radiofrecuencia. Existe un total de 39 bandas compartidas y 92 bandas no compartidas. En la Tabla 2.2 se muestra el número de servicios que son atribuidos a ciertas bandas de frecuencias.

Tabla 2.2 Total de servicios atribuidos en 131 bandas en el intervalo 1.075-80 MHz.

Servicios de radiofrecuencia	Núm. Servicios
Fijo	52
Radiodifusión	20
Móvil terrestre	17
Móvil marítimo	16
Aficionados	13
Móvil	13

Frecuencias patrón y señales horarias	12
Móvil aeronáutico (R)	12
Móvil aeronáutico (OR)	10
Aficionados por satélite	6
Radioastronomía	3
Radiolocalización	2
Radionavegación aeronáutica	2
Operaciones espaciales	1
Radionavegación	1
Ayuda a la meteorología	1

La mayoría de estos servicios de radiocomunicación son usados por las Secretarías de Gobierno, específicamente en la banda de HF para servicios de emergencia, incluyendo comunicaciones de la Secretaría de la Defensa; operaciones de guardacostas para socorro, llamada selectiva digital, patrullas y rescates, operaciones de seguridad como bomberos y ondas cortas usadas en radiodifusión internacional [21]. A continuación se clasifican las bandas de frecuencias asignadas a cada uno de los servicios de radiocomunicación.

2.3.1 Servicio Fijo

Estación instalada en un punto fijo determinado, destinada a ser utilizada en dicho punto de manera permanente. Las aplicaciones del servicio fijo incluyen la transmisión de voz y datos a distancias entre 25 Km. y hasta 2,000 km. La mayor parte de las estaciones de servicios fijos se localizan en las cercanías de líneas eléctricas que probablemente puedan ser usadas por la tecnología BPL. Por ejemplo, el empleo del espectro radioeléctrico en la banda de HF para servicios fijos en instalaciones militares en modos de operación de ondas de Tierra y ondas de cielo.

En la Tabla 2.3 se muestra las bandas de frecuencias asignadas para servicio fijo del CNAF en el intervalo de 1.705 a 80 MHz. La mayoría de los sistemas fijos en este intervalo de frecuencia operan en modo simplex.

Tabla 2.3 Bandas de frecuencias asignadas para servicio fijo en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
1850-2000	150	9900-9995	95	22855-23200	345
2000-2065	65	10100-10150	50	23200-23350	150
2107-2170	63	10150-11175	1025	23350-24890	1540
2194-2495	301	11400-11600	200	25010-25070	60
2505-2850	345	12100-12230	130	25210-25550	340
3155-3400	245	13360-13410	50	26175-27500	1325
3500-4000	500	13410-13570	160	27500-28000	500
4000-4063	63	13870-14000	130	29700-30005	305

4438-4650	212		14350-14990	640	30005-30010	5
4750-4995	245		15800-16360	560	30010-50000	19990
5005-5060	55		17410-17480	70	54000-72000	18000
5060-5250	190		18030-18068	38	72000-73000	1000
5250-5450	200		18168-18780	612	74600-74800	200
5730-5900	170		19020-19680	660	75200-75400	200
6765-7000	235		19800-19990	190	75400-76000	600
7350-8100	750		20010-21000	990	76000-80000	4000
8100-8195	95		21850-21870	20		
9040-9400	360		21870-21924	54		
Ancho de banda total= 58,478 kHz						

2.3.2 Servicio Móvil

Son los servicios móviles de radiocomunicación entre estaciones móviles y estaciones terrestres o entre estaciones móviles.

En el intervalo de 1.705 a 80 MHz existe un total de 13 bandas asignadas como se muestra en la Tabla 2.4, doce de ellas son asignadas a título primario y una a título secundario.

Tabla 2.4 Bandas de frecuencia asignadas para servicio móvil en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
1850-2000 *	150	27500-28000	500	75200-75400	200
2107-2170	63	30005-30010	5	75400-76000	600
2173.5-2190.5	17	54000-72000	18000	76000-88000	12000
2194-2495	301	72000-73000	1000		
3500-4000	500	74600-74800	200		
* Titulo secundario					
Ancho de banda total = 33,536 kHz					

Muchos de estos servicios son usados por los sectores de gobierno. Por ejemplo, los militares usan radios móviles de HF en modo de ondas de superficie y ondas ionosféricas. De la misma forma usan sus sistemas para servicio fijo. La mayor parte de las operaciones militares usan radios móviles para entrenamiento estratégico, incluyendo comunicaciones estratégicas terrestres, navales, aéreas, operaciones en sus bases, etc. Normalmente los entrenamientos se realizan cercanos a las líneas eléctricas.

El sector de guardacostas emplea ampliamente las porciones de banda HF y MF para operaciones marítimas y aéreas que incluye el monitoreo de llamada de socorro, llamada selectiva digital doméstica y operaciones de coordinación y búsqueda en las áreas costeras.

2.3.3 Servicio Móvil Terrestre

Servicio móvil entre estaciones de base y estaciones móviles terrestres o entre estaciones móviles terrestres. El servicio móvil terrestre está integrada de 17 bandas como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Bandas de frecuencia asignadas para servicio móvil terrestre en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
2000-2065	65	5250-5450	200	25010-25070	60
2505-2850	345	5730-5900	170	25210-25550	340
3155-3400	245	7350-8100	750	26175-27500	1325
4438-4650	212	13410-13570	160	29700-30005	305
4750-4995	245	13870-14000	130	30010-50000	19990
5060-5250	190	23350-24890	1540		
Ancho de banda total = 26,272 kHz					

Las áreas de operación de estas bandas incluyen zonas urbanas, suburbanas y rurales. Este servicio es muy importante en áreas militar, búsqueda y rescate, seguridad y servicios de emergencias como servicios de bomberos, y muy adecuado en lugares donde no existe la comunicación telefónica.

2.3.4 Servicio Móvil Marítimo

Servicio móvil entre estaciones costeras y estaciones de barcos, entre estaciones de barcos, o entre estaciones de comunicaciones a bordo asociadas; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento y las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros.

Las bandas móvil marítimo en el intervalo de 1.075 a 80 MHz se muestran en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Bandas de frecuencia asignadas para servicio móvil marítimo en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
2000-2065	65	4063-4438	375	19680-19800	120
2505-2850	345	6200-6525	325	22000-22855	855
2065-2107	42	8195-8815	620	25070-25210	140
2170-2173.5	3.5	12230-13200	970	26100-26175	75
2190.5-2194	3.5	16360-17410	1050		
4000-4063	63	18780-18900	120		
Ancho de banda total = 5,172 kHz					

Los usuarios principales de estas bandas son los guardacostas y la marina. Los guardacostas operan los sistemas de comunicación HF entre estaciones costeras y barcos, y barco a barco. Estos sistemas permiten el control de comunicación con guardacostas, aeronaves e instalaciones costeras con fines de búsqueda y rescate fuera de las instalaciones costeras; búsqueda de drogas, etc. El uso del sistema HF se ha incrementado para servicios aéreos, terrestre, barcos e instalaciones costeras. Es sumamente importante su uso para los guardacostas en banda de HF.

2.3.5 Servicio de Radiodifusión

Servicio de radiocomunicación cuyas emisiones se destinan a ser recibidas directamente por el público en general. Dicho servicio abarca emisiones sonoras y de televisión. En el intervalo de 1.075 a 80 MHz existen 18, bandas como se muestra en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Bandas de frecuencia asignadas para servicio de radiodifusión en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
5900-5950	50	11650-12050	400	15600-15800	200
5950-6200	250	12050-12100	50	17480-17550	70
7300-7350	50	13570-13600	30	17550-17900	350
9400-9500	100	13600-13800	200	18900-19020	120
9500-9900	400	13800-13870	70	21450-21850	400
11600-11650	50	15100-15600	500	25670-26100	430
Ancho de banda total = 3,720 kHz					

2.3.6 Servicio Móvil Aeronáutico

Servicio móvil entre estaciones aeronáuticas y estaciones de aeronave, o entre estaciones de aeronaves, en el que también pueden participar las estaciones de embarcación o dispositivo de salvamento; también pueden considerarse incluidas en este servicio las estaciones de radiobaliza de localización de siniestros que operen en las frecuencias de socorro y de urgencia designadas.

El servicio de móvil aeronáutico está subdividido en dos distintos servicios de radio; esto es, servicio de móvil aeronáutico en ruta (R) y servicio de móvil aeronáutico fuera de ruta (OR). Por definición, el servicio de móvil aeronáutico (R) es reservado a las comunicaciones aeronáuticas relativas a la seguridad y regularidad de los vuelos, principalmente en las rutas nacionales o internacionales de la aviación civil. Mientras que el servicio móvil aeronáutico (OR) es destinado a asegurar las comunicaciones, incluyendo las relativas a la coordinación de los vuelos, principalmente fuera de las rutas nacionales e internacionales de la aviación civil. En la banda 1.705 a 80 MHz se localizan 22 bandas de servicios con un total de 2176 kHz de ancho de banda. De estos 1331 kHz está asignado para el servicio móvil aeronáutico en ruta y 845 kHz está asignado para el servicio móvil aeronáutico fuera de ruta.

El las Tablas 2.8 y 2.9 se indican las bandas atribuidas para el servicio móvil aeronáutico (R) y servicio móvil aeronáutico (OR), respectivamente.

Tabla 2.8 Bandas de frecuencias asignadas para servicio móvil aeronáutico (R) en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
2850-3025	175	8815-8965	150
3400-3500	100	10005-10100	95
4650-4700	50	11275-11400	125
5450-5480	30	13260-13360	100
5480-5680	200	17900-17970	70
6525-6685	160	21924-22000	76
Ancho de banda total = 1,331 kHz			

Tabla 2.9 Bandas de frecuencias asignadas para servicio móvil aeronáutico (OR) en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
3025-3155	130	13200-13260	60
4700-4750	50	15010-15100	90
5680-5730	50	17970-18030	60
6685-6765	80	23200-23350	150
8965-9040	75		
11175-11275	100		
Ancho de banda total = 845 kHz			

2.3.7 Servicio de Frecuencias Patrón y Señales Horarias

Servicio de radiocomunicación para la transmisión de frecuencias específicas, de señales horarias, o de ambas, de reconocida y elevada precisión, para fines científicos, técnicos y de otras clases, destinadas a la recepción general.

Uso de espectro radioeléctrico para señales horarias y frecuencias patrón es de gran importancia en los procesos de normalización de la comunidad científica y en las operaciones marítimas, aeronáuticas, de radioastronomía, entre otras, de todos los países.

En el intervalo de 1.705 a 80 MHz existen doce servicios de frecuencias patrón y de señales horarias como se exhibe en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10 Bandas de frecuencias asignadas para servicio de frecuencias patrón y señales horarias en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
2495-2501	6	14990-15005	15
2501-2505	4	15005-15010	5
4995-5003	8	19990-19995	5
5003-5005	2	19995-20010	15
9995-10003	8	24990-25005	15
10003-10005	2	25005-25010	5
Ancho de banda total = 90 kHz			

2.3.8 Servicio de Radionavegación Aeronáutica

Servicio de radionavegación destinado a las aeronaves y a su explotación en condiciones de seguridad. Existen sólo 2 servicios como se muestra en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Bandas de frecuencias asignadas para servicio de radionavegación aeronáutica en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
1705-1800	95	74800-75200	400
Ancho de banda total = 495 kHz			

2.3.9 Servicio de Radiolocalización

Servicio de radiodeterminación para fines de radiolocalización, la banda asignada se indica en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Bandas de frecuencias asignadas para servicio de radiolocalización en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
1705-1800	95	1850-2000	150
Ancho de banda total = 245 kHz			

2.3.10 Servicio de Radioastronomía

Servicio que entraña el empleo de la radioastronomía y sólo existen 3 bandas tal como lo exhibe la Tabla 2.13.

Tabla 2.13 Bandas de frecuencias asignadas para servicio de radioastronomía en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
13360-13410	50	73000-74600	1600
25550-25670	120		
Ancho de banda total = 1,770 kHz			

2.3.11 Servicio de Aficionados y Aficionados por Satélite

Servicio de radiocomunicación que tiene por objeto la instrucción individual, la intercomunicación y los estudios técnicos, efectuados por aficionados, esto es, por personas debidamente autorizadas que se interesan en la radiotecnica con carácter exclusivamente personal y sin fines de lucro. Mientras que los aficionados por satélite utilizan estaciones espaciales situadas en satélites de la Tierra para los mismos fines que el servicio de aficionados. Existen 13 bandas asignadas para servicio de aficionados y 6 bandas para servicio de aficionados por satélite como lo muestran las Tablas 2.14 y 2.15.

Tabla 2.14 Bandas de frecuencias asignadas para servicio de aficionados en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
1800-1850	50	14000-14250	250	50000-54000	4000
1850-2000	150	14250-14350	100		
3500-4000	500	18068-18168	100		
7000-7100	100	21000-21450	450		
7100-7300	200	24890-24990	100		
10100-10150	50	28000-29700	1700		
Ancho de banda total = 7,750 kHz					

Tabla 2.15 Bandas de frecuencias asignadas para servicio de aficionados por satélite en el intervalo de 1.705-80 MHz.

Frecuencia (kHz)	BW (kHz)	Frecuencia (kHz)	BW (kHz)
7000-7100	100	21000-21450	450
14000-14250	250	24890-24990	100
18068-18168	100	28000-29700	1700
Ancho de banda total = 2,700 kHz			

2.3.11.1 Caso especial de los aficionados

Se debe tomar como un caso especial la banda de aficionados puesto que en otros países donde la tecnología BPL está proporcionando servicios, los usuarios de ésta banda mantienen una postura negativa en su implementación por los problemas que se mencionaron en el capítulo I. En el caso de México el CNAF cuenta 13 bandas de frecuencia que están integradas en el intervalo de 1.705-80 MHz de los cuales 11 son a títulos primario y 2 a títulos secundario. Además, 9 bandas son compartidas con otros servicios y 4 no lo son, como lo muestra la Tabla 2.16.

Tabla 2.16 Bandas de aficionados asignadas a títulos primario y secundario

Banda kHz	Título	Banda compartida
1800-1850	Primario	No
1850-2000	Secundario	Si
3500-4000	Primario	Si
7000-7100	Primario	Si
7100-7300	Primario	No
10100-10150	Secundario	Si
14000-14250	Primario	Si
14250-14350	Primario	No
18068-18168	Primario	Si
21000-21450	Primario	Si
24890-24990	Primario	Si
28000-29700	Primario	Si
50000-54000	Primario	No

2.3.12 Servicio de Operaciones Espaciales

Servicio de radiocomunicación que concierne exclusivamente al funcionamiento de los vehículos espaciales, en particular, el seguimiento espacial, la telemetría espacial y el telemando espacial. En este servicio existe una sola banda en 30005 a 30010 kHz con un ancho de banda de 5 kHz.

2.3.13 Servicio de Radionavegación

Permite determinar la posición, velocidad, orientación, mantenimiento en ruta u otras características de una aeronave o embarcación o la obtención de información relativa a estos parámetros, empleando ondas radioeléctricas. En este servicio existe en una sola banda en 1850 a 2000 kHz con un ancho de banda de 150 kHz.

2.3.14 Servicio de Ayudas a la Meteorología

Servicio de radiocomunicación destinado a las observaciones y sondeos utilizados en meteorología, con inclusión de la hidrología. En este servicio existe una sola banda en 27500 a 28000 kHz con un ancho de banda de 500 kHz.

2.4 USUARIOS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL INTERVALO DE 2-54 MHz

Según datos proporcionado por la Comisión Federal de Telecomunicaciones, se tiene autorizado más de 25,000 usuarios de espectro radioeléctrico legalmente establecidos en el intervalo de 2-54 MHz en 16 servicios distribuidos en diferentes servicios, tal como se muestra en la Figura 2.1.

Los servicios que integran en este intervalo de frecuencias indican claramente que el caso de servicio FIJO y MÓVIL TERRESTRE presenta mayor número de usuarios ubicados en las bandas 3 155-3 400 kHz, 4 438-4 650 kHz, 4 750-4 995 kHz, 5 250-5 450 kHz, 5 730-5 900 kHz, 23 350-24 890 kHz, 25 010-25 070 kHz, 25 210-25 550 kHz, 26 175-27 500 kHz, 29 700-30 005 kHz y 30 010-50 000 kHz y la banda de AFICIONADOS presenta el menor número de usuarios ubicados en la banda 50000-54 000 kHz.

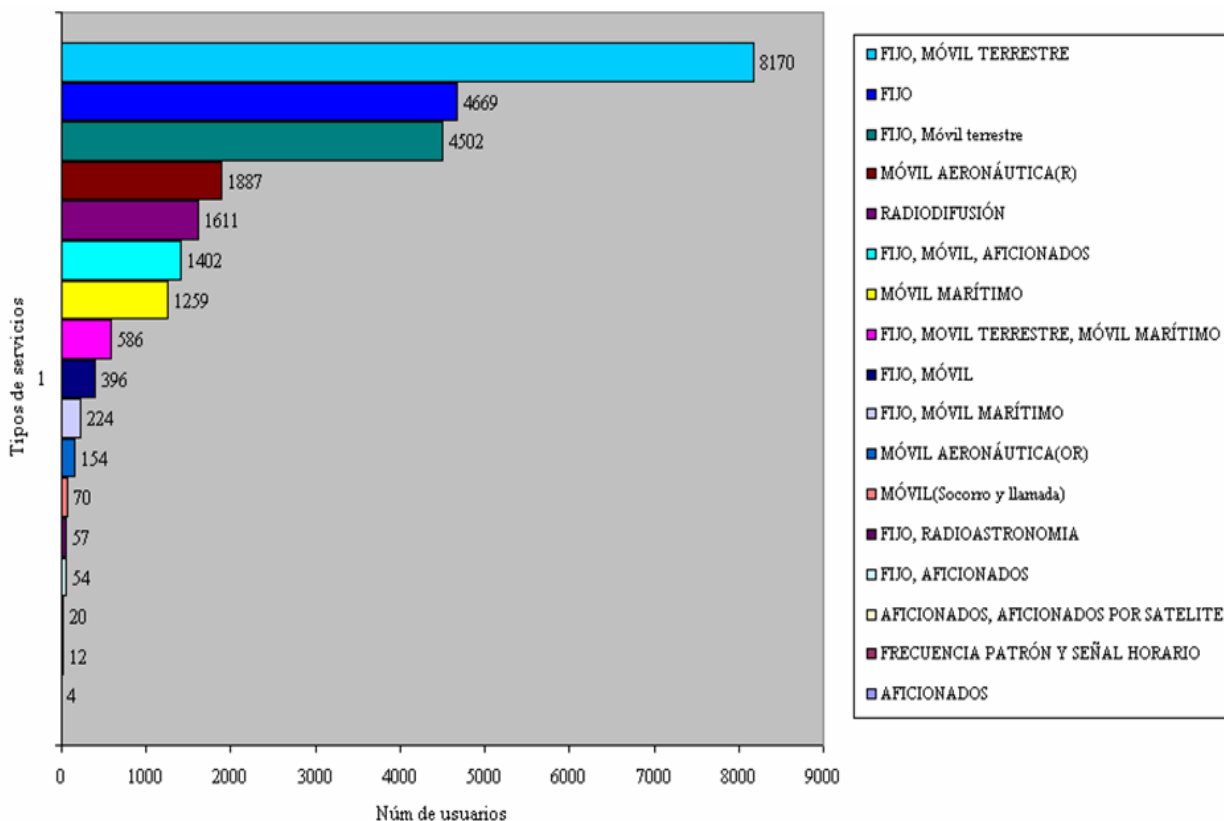


Figura 2.1. Cuantificación de servicios de espectro radioeléctrico distribuidos en el intervalo de frecuencias de 2-54 MHz correspondiente al registro de la COFETEL.

2.5 DISTRIBUCIÓN DE USUARIOS EN BANDA DE SERVICIO

De acuerdo al CNAF, el intervalo de 2 a 54 MHz. se compone de 120 bandas de frecuencias en los cuales están establecidos legalmente los más de 25,000 usuarios. Existen bandas de frecuencias que cuentan con un gran número de usuarios, mientras que otras están desocupadas, en la Figura 2.2 se muestran las dos bandas con mayor número de usuarios, la primera banda 7 350-8 100 kHz que cuenta con 2679 usuarios atribuidos a los servicios FIJO y Móvil terrestre, y la banda 30 010-54 000 kHz registra 2596 usuarios atribuidos en los servicios FIJO y MÓVIL TERRESTRE.

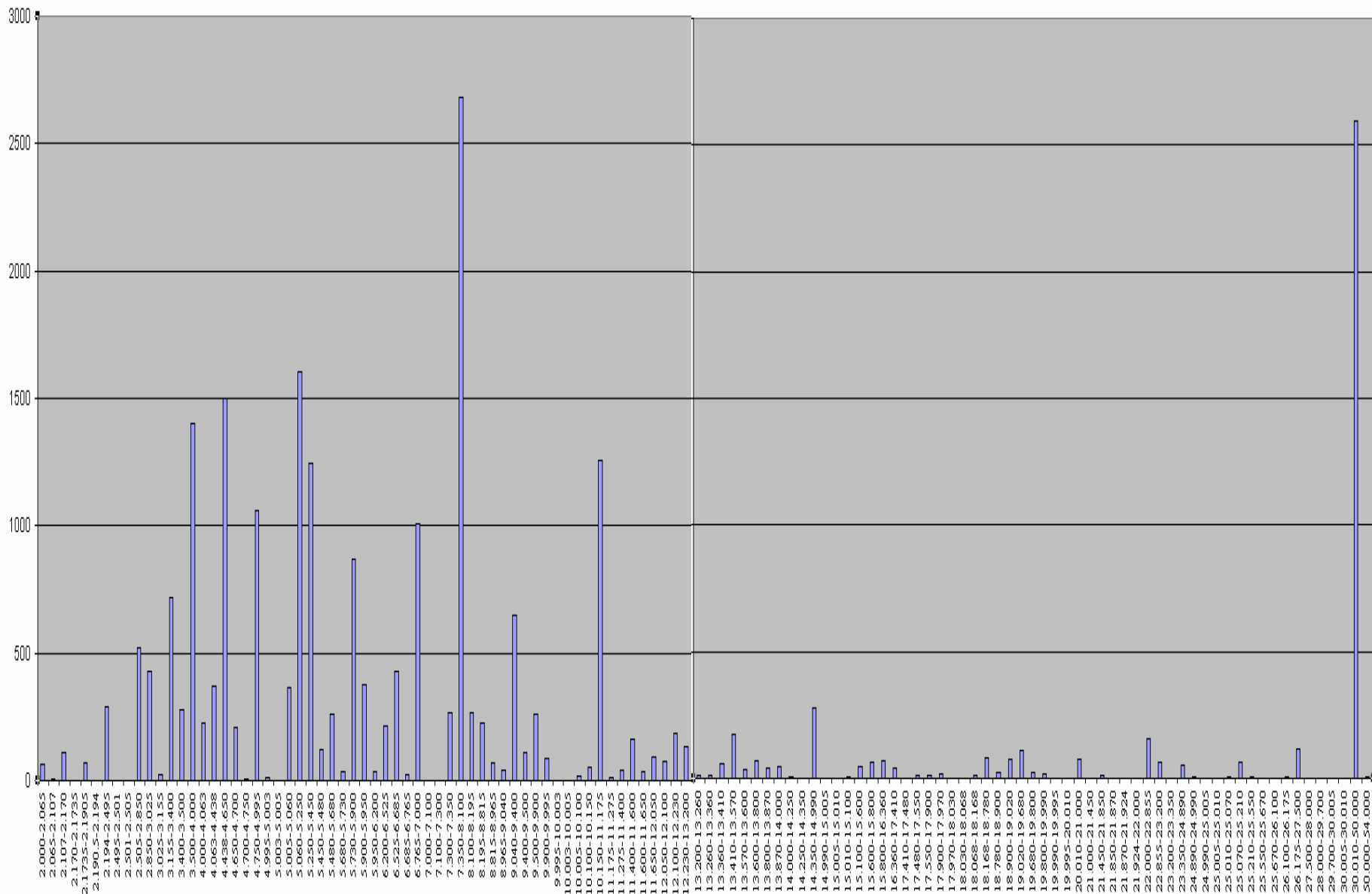


Figura 2.2. Distribución de usuarios de espectro radioeléctrico atribuidos legalmente en el intervalo de frecuencias de 2-54 MHz correspondiente al CNAF.

En el apéndice A se encuentra la información más detallada del número de usuarios en cada intervalo de frecuencia.

Todos los órganos reguladores de espectros nacionales e internacionales han reconocido que ciertas frecuencias o bandas del espectro de radio, incluyendo el intervalo de 1.705 hasta 80 MHz requieren especial protección debido a las funciones críticas o sensibles que aportan. Algunas de estas funciones incluyen desastre y seguridad, frecuencias patrón y señales horarias, radioastronomía y radionavegación.

2.6 CONCLUSIONES

En el intervalo de frecuencias de 1.7 a 80 MHz se localizan un total de 16 servicios de radiocomunicación. En este intervalo la COFETEL tiene un registro más de 25,000 usuarios de espectro radioeléctrico. La mayor parte de ellos se presenta en los servicios fijos y móviles.

Es importante considerar todas las bandas de frecuencias integradas en el intervalo de 1.7 a 80 MHz cuando se tienen que realizar las pruebas de medición de interferencias aún cuando cuenten con menor número de usuarios asignados, tal es el caso de frecuencias patrón y señales horarias, esto no significa que sea menos importante.

Existen bandas de frecuencias que proporcionan servicios de comunicación de vital importancia en donde la interferencia no es tolerable, tal es el caso con los servicios de seguridad nacional, radiofrecuencias, radioastronomía, aeronáutico y otros. Por lo tanto, es sumamente importante identificar y realizar una protección especial debido a posibles interferencias de BPL.

Capítulo 3

ESTADO ACTUAL SOBRE LA NORMALIZACIÓN DE BPL

3.1 INTRODUCCIÓN

Esta sección describe las regulaciones aplicables a los sistemas BPL y las diferentes propuestas sobre los límites de emisiones.

Al igual que otros países, en México a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), se pretende aprovechar la infraestructura de la red eléctrica de corriente alterna de baja, media y alta tensión para implementar los servicios de comunicación de banda ancha. Sin embargo, existen algunos escepticismos sobre la viabilidad comercial debido algunos problemas de carácter tecnológico y de legalidad. En este último, aún no existe una postura nacional y/o regional sobre los niveles de emisión electromagnética que pueden ser permitidas en la tecnología BPL ya que la línea eléctrica se convierte en una fuente de interferencia.

A pesar de las condiciones actuales de la normalización, existen algunos países que ya cuentan con las propuestas sobre los límites de perturbaciones electromagnéticas, han establecidos reglas o regulaciones para la implementación de BPL dependiendo de los resultados obtenidos en sus estudios. En algunos países se ha llevado a cabo con éxito la implementación de BPL, otros han postergado la aplicación mientras cumplen con las pruebas de estudio sobre las interferencias.

Mientras que algunos países han implementado o se encuentran experimentando los problemas de interferencias, en algunos casos se ha llevado a cabo la prohibición de su operación. Actualmente se tienen algunas propuestas sobre los límites de emisión para equipos BPL como la FCC Parte 15 de Estados Unidos, NB de Alemania, la BBC de Reino

Unido y la OTAN de la Organización del Tratado del Atlántico Norte, compuesta de varios países. Otros países proponen los niveles establecidos por la CISPR 22 ya que consideran al sistema BPL como equipo de la tecnología de la información [22].

3.2 PROPUESTAS SOBRE LOS LÍMITES DE EMISIÓN

3.2.2 Propuesta de la FCC parte 15

Uno de los órganos reguladores de telecomunicaciones que mantiene abierta la información sobre las reglas adoptadas para la tecnología BPL, es la FCC de Estados Unidos. En el año 2004 se adoptó la nueva regla conocida como la FCC Parte 15 para sistemas de acceso de banda ancha sobre líneas de potencia eléctrica y acceso de banda ancha sobre la red eléctrica doméstica. Los límites de perturbaciones radiadas para sistemas de acceso a BPL (para líneas de media potencia) se define en 47 C.F.R. §15.109, y para sistemas de acceso de banda ancha sobre la red eléctrica doméstica (línea de baja tensión) se define en 47 C.F.R. §15.209 que está disponible en la página de Internet de la FCC [5].

El informe establece el nivel de intensidad del campo y la conformidad de la medición aplicables a los sistemas de BPL. Los límites de intensidad del campo eléctrico se muestran en la Tabla 3.1. La FCC Parte 15 define el sistema BPL como un sistema de corriente portadora. Los sistemas BPL son diseñados para transmitir energía de RF por conducción sobre línea de potencia eléctrica, por lo tanto, estos sistemas son tratados como radiadores no intencionales y con bandas de operación restringida definido en 47 C.F.R. §15.205[5].

Tabla 3.1 Límites de emisiones radiadas relevantes para BPL de la FCC

Uso	Frecuencia (MHz)	Intensidad del campo eléctrico ($\mu\text{V}/\text{metro}$)	Distancia de medición (m)	Ancho de banda (kHz)	Detector	Fuente
Sistema de corriente portadora	1.705-30.0	30	30	9	casi-pico	15.209
Clase A, áreas de comercio, negocio e industrias	30-88	90	10	120	casi-pico	15.109
Clase B, para uso de áreas residenciales	30-88	100	3	120	casi-pico	15.109

3.2.3 Propuesta alemana

Tabla 3.2 Propuesta de Alemania

Intervalo de Frecuencia (MHz)	Límites de campo eléctrico pico a 3 metros (dB μ V/metro)	Ancho de banda de medición	Detector
1 a 30	$40 - 8.8 * \log_{10}(f_{\text{MHz}})$	9 kHz	Pico
30 a 1000	27 (equivalente a la potencia radiada de 20 dBpW)	No especificado	Pico

3.3 NUEVAS PROPUESTAS REGIONALES PARA LA TECNOLOGÍA BPL

Se han presentado varias propuestas regionales básicas para considerar la regulación de emisiones de los cables, equipos BPL y las partes pertinentes del sistema BPL que operan en el intervalo de frecuencia de 1.7 a 80 MHz, estos se muestran en las siguientes Tablas [23]. La primera propuesta de Alemania tomada de la NB30, como se indica en la siguiente Tabla 3.3.

3.3.1 Propuesta regional alemana

Tabla 3.3 Propuesta regional por Alemania

Intervalo de Frecuencia (MHz)	Límites de campo eléctrico pico a 3 metros (dB μ V/metro)	Ancho de banda de medición	Detector
1 a 30	$40 - 8.8 * \log_{10}(f_{\text{MHz}})$	9 kHz	pico
El límite está dado en términos de intensidad de campo magnético. Debajo de 30 MHz el límite es aplicable a la intensidad del campo magnético considerando una impedancia intrínseca de 377 Ω . Esta propuesta es apoyada por Austria, Finlandia, Francia, Alemania, Rumania y Suiza.			

3.3.2 Propuesta regional noruega

Tabla 3.4 Propuesta de Noruega

Intervalo de Frecuencia (MHz)	Límites de campo eléctrico pico a 3 metros (dB μ V/metro)	Ancho de banda de medición	Detector
1 a 30	$20 - 7.7 * \log_{10}(f_{\text{MHz}})$	9 kHz	pico
Los datos de campo magnético en dB μ A/metro se miden con una antena de lazo. Las equivalencias del campo eléctrico E y el campo magnético H son convertidos por el factor de 51.5 dB que corresponden a la impedancia del espacio libre a $120\pi \Omega$. Esta propuesta es apoyada por Irlanda.			

4.3.3 Propuestas de la BBC y la OTAN

Tabla 3.5 Propuesta de la BBC de Reino Unido y la OTAN (Organización del Tratado del Atlántico Norte)

Intervalo de Frecuencia (MHz)	Límites de campo eléctrico pico a 1 metro	Ancho de banda de medición	Detector
3 – 30	$H_{\text{pico}} = -29.7 - 8.15 \text{ Log}_{10}(f_{\text{MHz}})$, (medido en dB μ A/metro)	9 kHz	pico
3 – 30	$E_{\text{pico}} = 21.8 - 8.15 \text{ Log}_{10}(f_{\text{MHz}})$, (Calculado desde H_{pico} en dB μ V/metro)	9 kHz	pico

Los datos del campo magnético H se miden con una antena de lazo, los datos del campo eléctrico se convierten por un factor 51.5 dB. Este límite se deriva del nivel del ruido de referencia de la ITU-R Rec. P 372-7 y de la distancia de protección de 10 metros donde la sensibilidad de un receptor interferido se degrada menos de 0.5 dB. Está respaldada por los usuarios de radios (militares, radiotransmisores, aviación civil, radioaficionado, etc.) en las bandas LF, MF y HF.

3.3.4 Propuestas por algunos países

Tabla 3.6 Propuesta por algunos países promotores de BPL

Intervalo de Frecuencia (MHz)	Campo eléctrico a 30 metros (dB μ V/metro)	Ancho de banda de medición	Detector
1.705 - 30.0	30	9 kHz	casi-pico

3.4 REGLAMENTACIÓN ADMINISTRATIVA SOBRE BPL

Como se resume en la Tabla 3.7, varios órganos de normas regionales han reportado las reglas que debe aplicar la implementación de BPL.

Tabla 3.7 Países y sus reglas implementadas sobre BPL

País	Regulador o normalizador	Fuente de información
Australia	ACA no tiene estándares que regulen el equipo de BPL para frecuencias arriba de 525 kHz.	http://www.aca.gov.au/consumer_info/fact_sheets/industry_fact_sheets/fsi23.pdf
Austria	El Ministro de Tráfico determinó los proyectos pilotos para BPL. Concluyendo que las interferencias causadas por BPL en intervalo de frecuencia de 2-30 MHz	http://futurezone.orf.at/futurezone.orf?read=detail&id=205693&tmp=4659

	no pueden ser reducidas a niveles aceptables.	
Finlandia	El anuario de FICORA reporte 2001: De los resultados de la medición se decidió que la tecnología BPL puede proveerse después de que los problemas de interferencia y de seguridad sean resueltos y cuando la tecnología cumpla con los requerimientos oficiales.	http://www.ficora.fi/2001/VV_vsk2001.pdf
Alemania	NB30 (Vea la Tabla 3.2)	http://www.darc.de/referate/emv/plc/c3.4-rev1-PLC5RPRT.pdf
Japón	El MPHPT de Japón ha determinado que hasta éste período incrementar el ancho de banda de BPL podría dificultar las comunicaciones. Propuso pruebas de factibilidad promoviendo la investigación y el desarrollo de módems.	http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/eng/Releases/Telcommunications/news020809_3.html
Reino Unido	Todavía no existe una postura para el intervalo de frecuencia 1.6-30 MHz.	http://www.radio.gov.uk/publication/mpt/mpt_pdf/mpt1570.pdf
<p>ACA: Autoridad de Comunicaciones de Austria BBC: Corporación Británica de Radiodifusión DARC: Club de Radio Aficionados Alemanes EN: Estándar Europea NF FICORA: Autoridad Reguladora de Comunicaciones Finlandesa IEC: Comisión Internacional Electrotécnica MPHPT: Ministro de Administración Pública de Correo y Telecomunicaciones de Japón NB30: Emitida en enero de 1999 por la RegTP alemana. Contiene una nivel de curva para la radiación de servicios de las telecomunicaciones junto a los cables (incluido la Televisión por Cable, xDSL, y PLC) para intervalo de frecuencia desde 9 kHz hasta 3 GHz. RA: Agencia de Radiocomunicaciones de Reino Unido RegTP: La Administración Reguladora de Telecomunicaciones y Correos de Alemania</p>		

En la Figura 3.1 se muestra una comparación de cinco propuestas, los niveles que se indican son convertidos a 10 metros de distancia de acuerdo a la regla de extrapolación definido en 47 C.F.R. §15.31 (f) (2) para frecuencias debajo de 30 MHz.

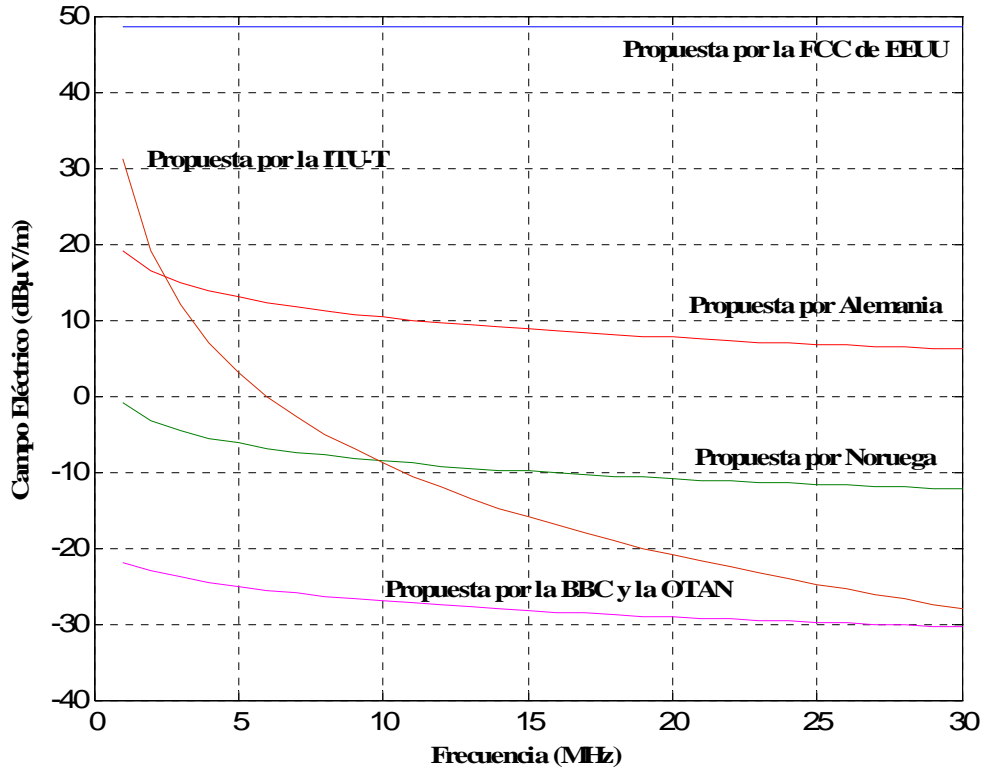


Figura 3.1. Comparación de propuestas para regular las emisiones de BPL

Para efectuar la conversión a distancia menor que la prevista, debajo de 30 MHz, primero se establecen las unidades de intensidad del campo eléctrico en dB con la ecuación 3.2, en seguida se extrapolan los valores del campo utilizando un factor de 40 dB por década, para así corresponder los resultados de las mediciones con los de la distancia especificada, como la ecuación 3.1. Si la frecuencia es mayor que 30 MHz, el factor 40 dB por década de la ecuación 3.1 se sustituye por su correspondiente de 20 dB por década [23].

$$L_2 (dB) = L_1 (dB) + 40 \log \left(\frac{D_1}{D_2} \right) \quad (3.1)$$

$$L_1 (dB) = 20 \log \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) \quad (3.2)$$

donde

E es la intensidad del campo eléctrico (por lo regular en $\mu\text{V/m}$).

E_{ref} es el valor de referencia (por lo regular $1\mu\text{V/m}$).

L_1 es el límite previsto en la “norma”

D_1 es la distancia prevista en la “norma”

D_2 es la nueva distancia de medición
 L_2 es el nuevo límite de la nueva distancia.

3.5 POSICIÓN DE LA UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES (ITU)

Al menos dos de los sectores de la ITU han tenido el interés sobre el estudio de la tecnología de BPL. El sector de normas de telecomunicaciones (ITU-T) y el sector de radiocomunicaciones (ITU-R) formaron un Grupo de Trabajo para la investigación, hasta este momento la información que han obtenido no ha estado disponible al público.

3.5.1 Grupo de Trabajo 5 de la ITU-T

El Grupo de Trabajo 5 ha proporcionado las recomendaciones K.60, que se refieren a los límites de emisiones y métodos de prueba para redes de telecomunicaciones. Específicamente, su aplicación es para investigaciones y emitir una queja sobre la interferencia de radiofrecuencia, se aplica a todas las redes de telecomunicaciones que usan corriente alterna de baja tensión en el intervalo de frecuencia de 9 kHz a 400 GHz. En el caso de la tecnología BPL las recomendaciones de los límites de campo eléctrico se muestran en la Tabla 3.8 que corresponden al intervalo de frecuencia de 1.7 a 80 MHz.

Tabla 3.8 Límites de emisiones no intencionales para redes de telecomunicaciones de la ITU-T K.60

Intervalo de Frecuencia (MHz)	Campo eléctrico (dB μ V/m)		Distancia de medición	Ancho de banda de medición
	Pico	Casi-Pico		
1 a 30	52 - 40 log (f)	40 - 20 log (f)	3 m	9 kHz
30 a 230	52 - 8.8 log (f)	40 - 8.8 log (f)	3 m	120 kHz

Nota: f = frecuencia (MHz); debajo de 30 MHz, para calcular el campo magnético se asume la impedancia con valor de 377 Ω .

3.6 EL COMITÉ INTERNACIONAL ESPECIAL PARA LAS PERTURBACIONES RADIOELÉCTRICAS CISPR 22

Algunos países consideran que los límites establecidos por la CISPR 22 para perturbaciones radiadas sean aplicables para sistemas de BPL. Los niveles que la norma establece se muestran en la Tabla 4.9. Esta norma está en proyecto de ratificación por la NORMA MEXICANA, NMX-I-240-NYCE-2000, que tiene por objeto establecer los niveles máximos permisibles de las perturbaciones radioeléctricas producidas por el (los) Equipo (s) de Tecnología de la Información [24].

Esta consideración ha llevado al subcomité de CISPR/I a una integración de grupos de trabajo (CISPR I PLT PT) para el estudio sobre los límites y métodos de medición para

equipos de telecomunicaciones de banda ancha sobre la línea de potencia. Los avances de la investigación no son de acceso público.

Tabla 3.9 Límites de las perturbaciones radiadas para una distancia de medición de 10 m para los ETI clase B

Intervalos de frecuencias MHz	Límites casi-pico dB(μ V/m)
30 a 230	30
230 a 1 000	37

3.7 CONCLUSIONES

La propuesta de la FCC Parte de Estados Unidos sobre los límites máximos permisibles es la más tolerante. Mientras que menos tolerante es la propuesta regional de BBC y NATO.

En el caso de México no existe una propuesta de norma sobre los límites y métodos de medición sobre perturbaciones producidos por sistemas de BPL. Por lo tanto, no existe una claridad sobre los límites máximos que deben ser permitidos.

Para llevar a cabo la introducción de BPL en México es importante que las autoridades reguladoras de telecomunicaciones cuenten al menos con una propuesta clara sobre los límites de emisiones que deben ser permitidos.

Para esto es necesario realizar varias pruebas de interferencias en diferentes zonas donde el uso de la banda de HF es importante, como en las cercanías de los aeropuertos, zonas costeras, zonas militares y zonas urbanas.

Capítulo 4

MEDICIÓN DE PERTURBACIONES RADIADAS E IMPACTO DEL SISTEMA BPL DE BAJA TENSIÓN SOBRE LOS EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIÓN EN LA BANDA DE HF

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo describe las pruebas realizadas sobre las perturbaciones radiadas que emite el sistema BPL y los niveles de afectación a las señales de radiocomunicación en banda de HF. Además, se presenta las metodologías usadas para evaluar la afectación y los resultados obtenidos.

4.1.1 Objetivo de las pruebas realizadas

Evaluar el impacto del sistema BPL, de baja tensión, al sistema de radiocomunicación a través de las mediciones de niveles potencias recibidas en el receptor de radiocomunicación en la banda de alta frecuencia.

Realizar mediciones con señal libre de interferencias y con interferencias del sistema BPL para evaluar el impacto sobre el sistema en el receptor de radiocomunicación.

Generar y transmitir una señal de banda base con una señal de radiofrecuencia en presencia de la operación de un sistema BPL.

Las pruebas de medición realizadas se fundamentan en dos metodologías de medición. La medición de perturbaciones radiadas hechas en una instalación de sitio de

prueba (recinto blindado) con características normalizadas, y la medición de afectación sobre el sistema de radiocomunicación (en sitio abierto).

Las pruebas de medición de perturbaciones radiadas se llevaron a cabo para determinar si las emisiones generadas por el sistema BPL cumplen con los niveles de perturbación permisibles por algunas normas sobre perturbaciones radioeléctricas, tales como la CISPR 22 utilizados para equipos de tecnología de la información ó los niveles recomendados por la FCC Parte 15 para dispositivos que emiten radiadores no intencionales, como el caso de los sistemas BPL. Para estas pruebas se utilizaron las dos recomendaciones anteriores por la carencia de una norma específica sobre los niveles que deben ser permitidos para los sistemas BPL, por ende no existen procedimientos de medición, tal como se señaló en el capítulo I.

La medición de afectación sobre el sistema de radiocomunicación, primero se realizaron las pruebas de medición de la calidad de señal existente cuando el sistema BPL no estaba en operación. Segundo, se realizó las pruebas de medición de la calidad de señal existente cuando el sistema BPL estaba en operación. Con estas dos señales se cuantificó el nivel de degradación, evaluando la distorsión de la señal en el equipo radio receptor.

Las mediciones de perturbaciones de radiofrecuencia son aplicables a equipos de tecnología de la información que tienen como función principal una o varias de las funciones siguientes: introducir, almacenar, desplegar, recuperar, transmitir, procesar, conmutar o controlar datos y mensajes de telecomunicaciones, o una combinación de éstas; y que puede estar equipado con uno o más puertos terminales para la transferencia de información; con una tensión de alimentación nominal que no exceda de 600 V, incluye por ejemplo, equipos de procesamiento de datos, máquinas de oficina, equipos electrónicos de oficina y equipos de telecomunicaciones

Los puertos de telecomunicaciones son puertos que están destinados a ser conectados a redes de telecomunicaciones (por ejemplo, Redes públicas conmutadas de telecomunicaciones, redes digitales de servicios integrados), redes de área local (por ejemplo, Ethernet, Token Ring) y redes similares [25].

4.2 MEDICIÓN DE PERTURBACIONES RADIADAS SOBRE EL SISTEMA BPL DE BAJA TENSIÓN

El propósito de esta sección es determinar los niveles de perturbaciones radiadas que genera el sistema de BPL en una red eléctrica doméstica. Además, describe el procedimiento de medición, los equipos utilizados y un análisis de los resultados obtenidos.

4.2.1 Ubicación sobre la realización de las mediciones de emisiones electromagnéticas

El sitio donde se desarrollaron las pruebas de medición fue en la cámara semianecóica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Autónoma de México, edificio Tlahuizcapan, circuito exterior s/n, C.P. 04510, Coyoacán, México D.F. Ver el apéndice B.

4.2.2 Descripción de equipo bajo prueba

El equipo bajo prueba consiste en un tramo de cable para conducción de corriente alterna como medio de comunicación a través de dos adaptadores BPL, formando una red local de dos computadoras portátiles, como se muestra en la Figura 4.1. A continuación se describen los equipos.

- Un tramo de cable eléctrico THW de 10 m, calibre 12, con dos contactos dobles aterrizados hacia los extremos, con una toma de corriente “clavija”. Este cable se denominó “cables de pruebas BPL”
- Dos PowerLine Switch (adaptador BPL) marca NETGEAR (XE104 85 Mbps Wall-Plugged Ethernet Switch)
- Dos computadoras portátiles con puertos de Ethernet

4.2.3 Especificaciones técnicas de los equipos de medición.

- Receptor de interferencia electromagnética marca ROHDE & SCHWARZ modelo ESIB 26, con frecuencia de operación 20 Hz a 26.5 GHz.
- Antena BiConiLogs marca ETS-LINDGREN modelo 3142C con frecuencia de operación de 26-3000 MHz.
- Antena Loop pasiva marca ETS-LINDGREN modelo 6512 con frecuencia de operación de 10 Hz hasta 30 MHz.
- Una computadora Pentium IV marca HP
- Dos patch cable UTP categoría 5 de longitud 1.20m.
- Software ES-K1 que controla el receptor de EMI y calcula los datos de las pruebas
- Instalación de la cámara semianecóica regulado por la CISPR 16
- Una mesa rotatoria de 0.80 m de altura, 1.90 X 0.90 de dimensión.

4.2.4 Configuración del analizador de EMI.

- Frecuencia de operación 30 – 1000 MHz normalizado por la CISPR
- Frecuencia de operación 20 Hz – 30 recomendado por la FCC Parte 15
- Detector de función modo casi-pico
- Ancho de banda 120 kHz.

4.2.5 Aplicación de normas

- CISPR 22 cuarta edición 2003-04 para perturbaciones radiadas clase B

- Recomendación de la FCC Parte 15 subparte B para equipos clase B con radiaciones no intencionales, actualizado 1 de febrero del 2006.

La norma CISPR 22 establece los niveles máximos permisibles de las perturbaciones radioeléctricas producidas por ETI y los métodos para su medición, para proteger a los usuarios del espectro radioeléctrico contra emisiones no deseadas. Esta norma es aplicable en el intervalo de frecuencia de 30 MHz a 1 GHz para perturbaciones radiadas. Esta norma es reconocida a nivel internacional para interferencia electromagnética.

Se aplicó esta norma debido a que el equipo bajo prueba obedece la definición de equipos dentro de la norma CISPR 22, excepto la línea de transmisión.

Asimismo, la FCC Parte 15 subparte B establece los límites de perturbaciones para sistemas de BPL en el intervalo de 0.009 hasta 960 MHz.

4.2.6 Configuración sobre la prueba de perturbaciones radiadas

En este caso el equipo bajo prueba incluye el cable de corriente alterna de baja potencia como el medio de transmisión de datos. La configuración de las pruebas de perturbaciones radiadas se estableció de acuerdo a la metodología de medición de la CISPR 22 y FCC Parte 15.

El sistema bajo prueba se colocó sobre la mesa rotatoria a 0.8 m sobre el plano de Tierra y una distancia de separación de 3 m de la antena, como lo muestra la Figura 4.1

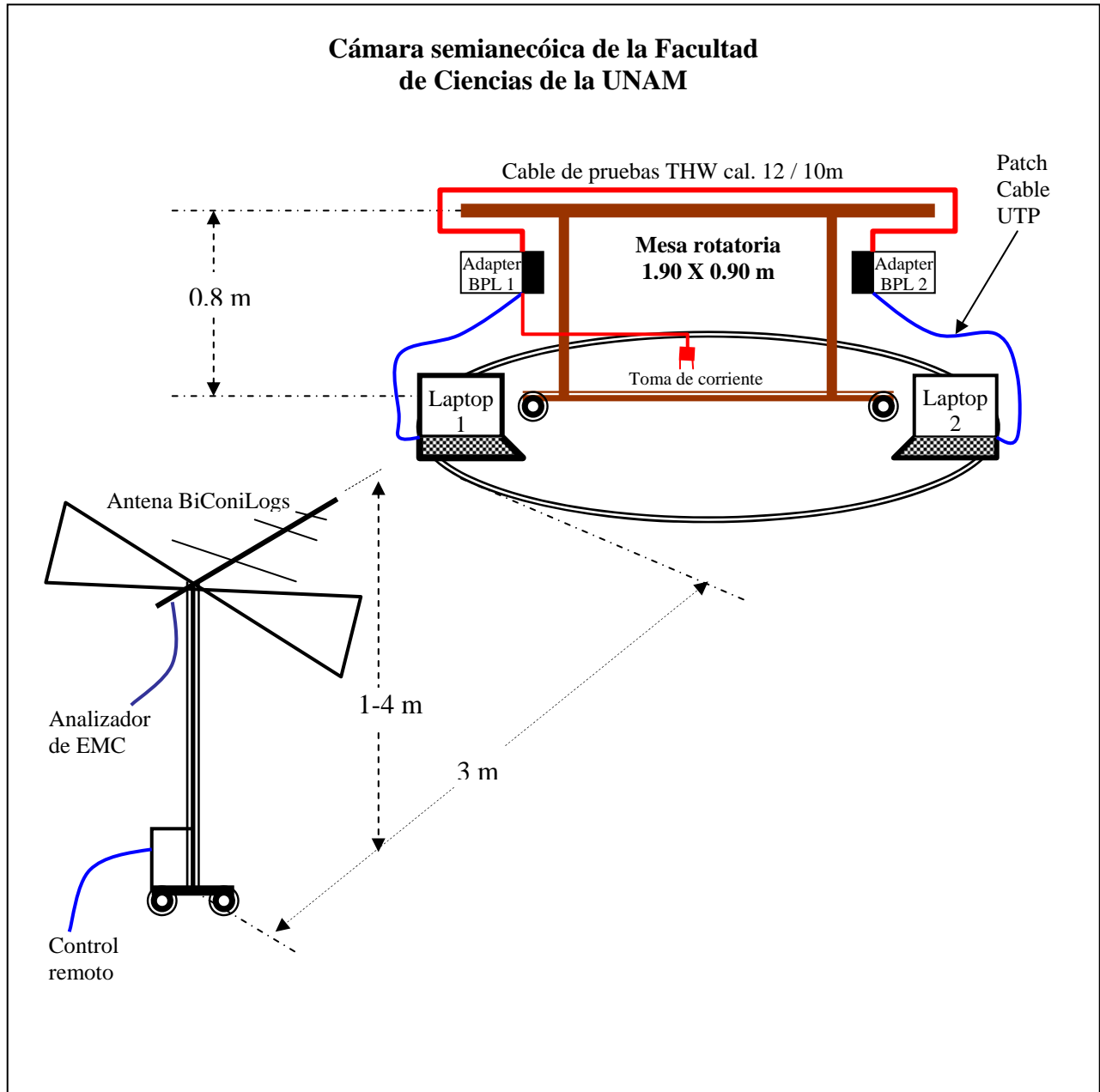


Figura 4.1. Configuración de equipo bajo prueba para medición de perturbaciones radiadas en el intervalo de frecuencias de 10 Hz hasta 1000 MHz.

4.2.7 Procedimiento de medición de perturbaciones radiadas.

Para realizar las pruebas de medición de perturbaciones radiadas se emplearon 2 antenas, como se marca en la sección 4.2.3, esto se debe a que no se encontró una que cubriera el intervalo de frecuencias de 1.705 a 80 MHz.

La antena BiConiLogs se empleó para perturbaciones radiadas mayores de 30 MHz y la antena loop se utilizó para mediciones debajo de 30 MHz de acuerdo a la recomendación de la FCC Parte 15. Por lo tanto la prueba consistió en dos partes, la primera aplicó los niveles establecidos la norma CISPR y los niveles que marca la FCC, utilizando la antena BiConiLogs. En la segunda parte se aplicó los niveles que establece la FCC para frecuencias debajo de 30 MHz, utilizando la antena loop.

Para el desarrollo de las pruebas se siguieron los siguientes pasos.

1. Se instalaron las dos computadoras portátiles debajo de la mesa rotatoria
2. El cable eléctrico THW se colocó sobre la superficie de la mesa rotatoria conectado a la toma de corriente ubicado debajo de la mesa.
3. Cada uno de los adaptadores BPL se conectaron a los conectores del cable de pruebas
4. Los Patch Cable UTP se interconectaron entre los adaptadores BPL y las computadoras portátiles.
5. Se configuró red local de dos computadoras portátiles.
6. Para realizar la comunicación sobre el cable de pruebas se realizó una transferencia de un archivo de video de 770 MB, suficiente para realizar las pruebas.
7. Se ubicó la antena BiConiLogs (o la antena loop) a 3 m del equipo bajo prueba.
8. Se cerró la cámara semianecóica (cuarto de operación)
9. Desde el cuarto de control se empezó a operar los equipos de medición de interferencia electromagnética.
10. Cada una de las pruebas duró aproximadamente 25 minutos.

Antes de iniciar las pruebas, en el analizador de EMI se cargaron los parámetros de medición de la norma CISPR 22 y de la FCC Parte 15, ambos para equipos clase B.

4.2.8 Resultados obtenidos

Con el fin de verificar los niveles de perturbaciones radiadas en cada uno de los resultados obtenidos. Primero se realizaron las pruebas de referencias, utilizando el mismo procedimiento de la sección 4.2.7 excepto que los dos adaptadores se desconectaron de la fuente de alimentación de energía. Estas pruebas se realizaron en cada modificación de polarización de las dos antenas (horizontal y vertical) utilizadas. Los dos procesos de medición son de suma importancia para verificar en qué frecuencias el nivel de perturbación excede los límites empleados en estas pruebas.

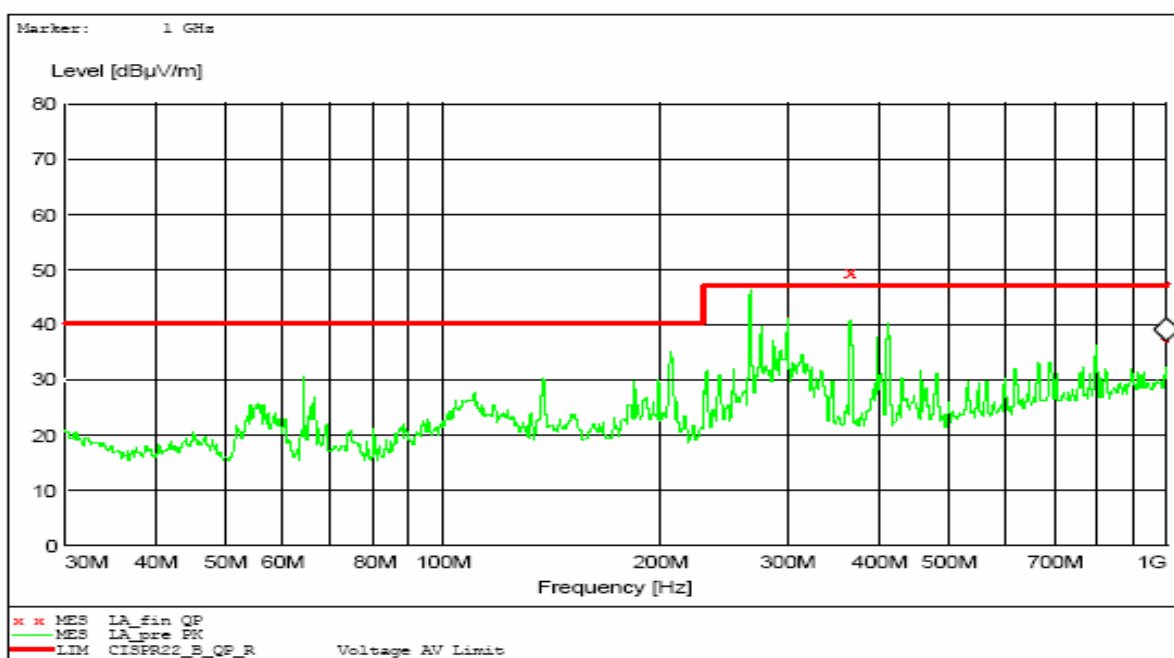
Se varió la polarización de la antena respecto al equipo bajo prueba durante la medición, a fin de encontrar la máxima lectura de la intensidad del campo.

4.2.8.1 Prueba de medición empleando la norma CISPR 22 para equipos clase B

En estas pruebas utilizaron la referencia del nivel máximo de emisiones permisibles que establece la norma CISPR 22 para ETI clase B.

Polarización horizontal sin interferencia BPL

Las Figuras 4.2 y 4.3 se muestran los resultados de las mediciones de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado (sin operación) y conectado (con transferencias de datos), respectivamente. En ambos casos, la antena biconilogs se ubicó en polarización horizontal.



MEASUREMENT RESULT: "LA_fin QP"

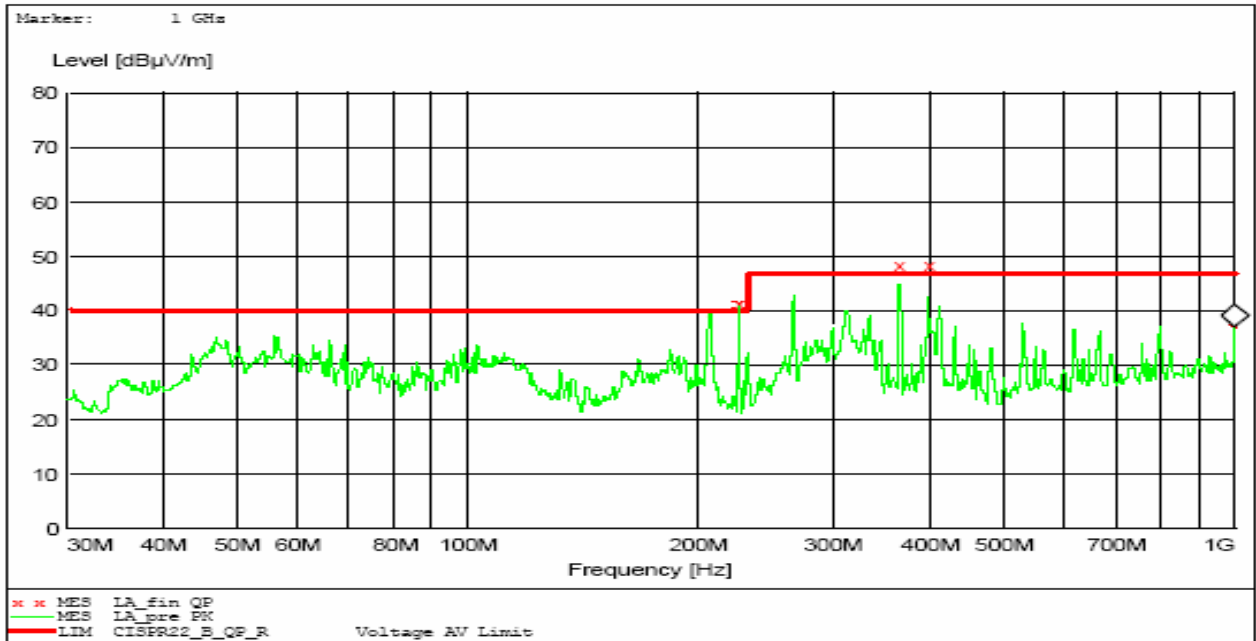
5/17/2007 1:53PM

Frequency	Level	Polarisation
MHz	dBµV/m	

365.021289	49.80	HORIZONTAL
------------	-------	------------

Figura 4.2. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.

Polarización horizontal con interferencia BPL



MEASUREMENT RESULT: "LA_fin_QP"

5/17/2007 3:30PM

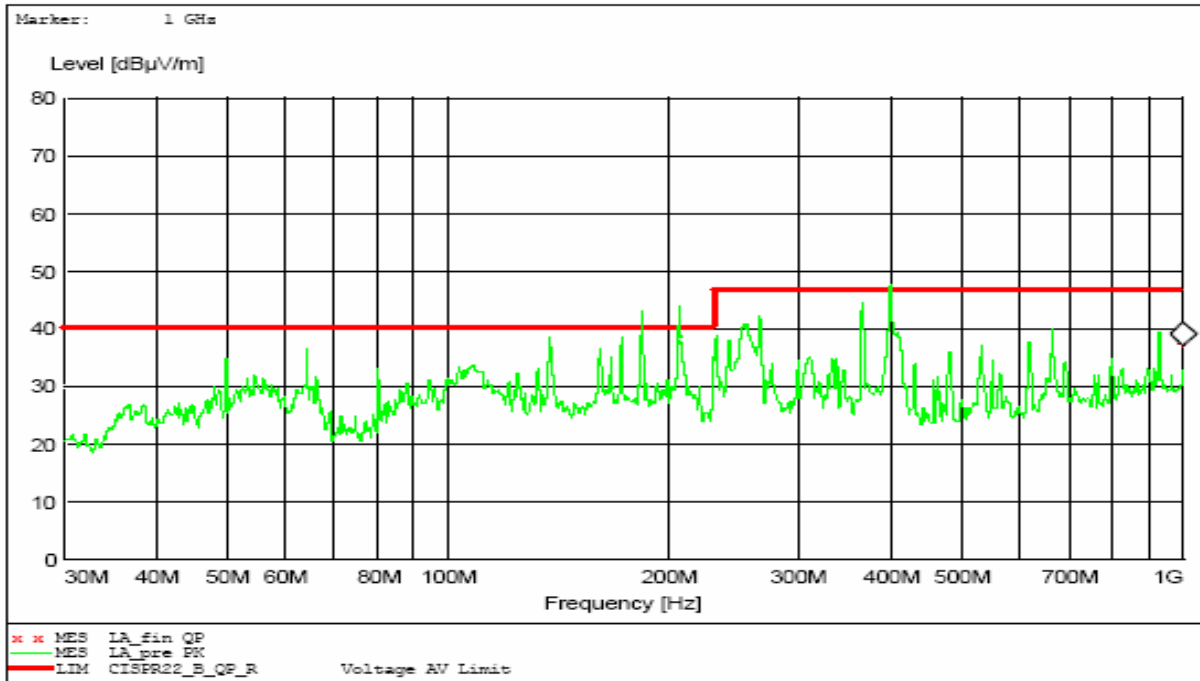
Frequency	Level	Polarisation
MHz	dBµV/m	
225.014344	41.40	HORIZONTAL
365.021289	48.40	HORIZONTAL
399.307352	48.50	HORIZONTAL

Figura 4.3. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.

En la Figura 4.3 se observa que en el intervalo de frecuencias de 30 a 80 las perturbaciones radiadas no rebasaron el límite máximo establecido por la norma CISPR 22. Sin embargo, en las frecuencias 225.01, 365.02 y 399.30 MHz superaron el límite, esto significa que las señales BPL pueden generar señales armónicas en estas frecuencias si pueden generar interferencias por encima de los niveles permitidos.

Polarización vertical sin interferencia BPL

Las Figuras 4.4 y 4.5 muestran los resultados de las mediciones de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado (sin operación) y conectado (con transferencias de datos), respectivamente. En ambos casos la antena biconilogs se ubicó en polarización vertical.

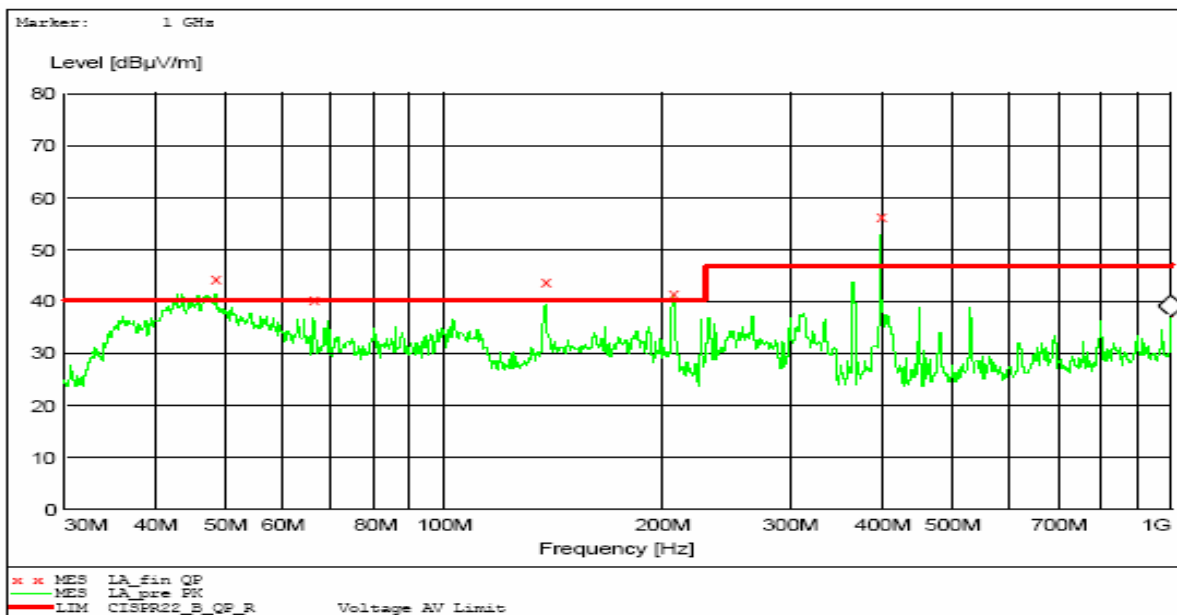


```

MEASUREMENT RESULT: "LA_fin QP"
5/17/2007 2:04PM
Frequency Level Polarisation
MHz dBµV/m
  
```

Figura 4.4. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma vertical.

Polarización vertical con interferencia BPL



MEASUREMENT RESULT: "LA_fin QP"

5/17/2007 3:44PM

Frequency MHz	Level dBµV/m	Polarisation
48.424281	44.50	VERTICAL
66.301763	40.60	VERTICAL
138.018134	44.10	VERTICAL
206.722217	41.50	VERTICAL
399.307352	56.30	VERTICAL

Figura 4.5. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma vertical.

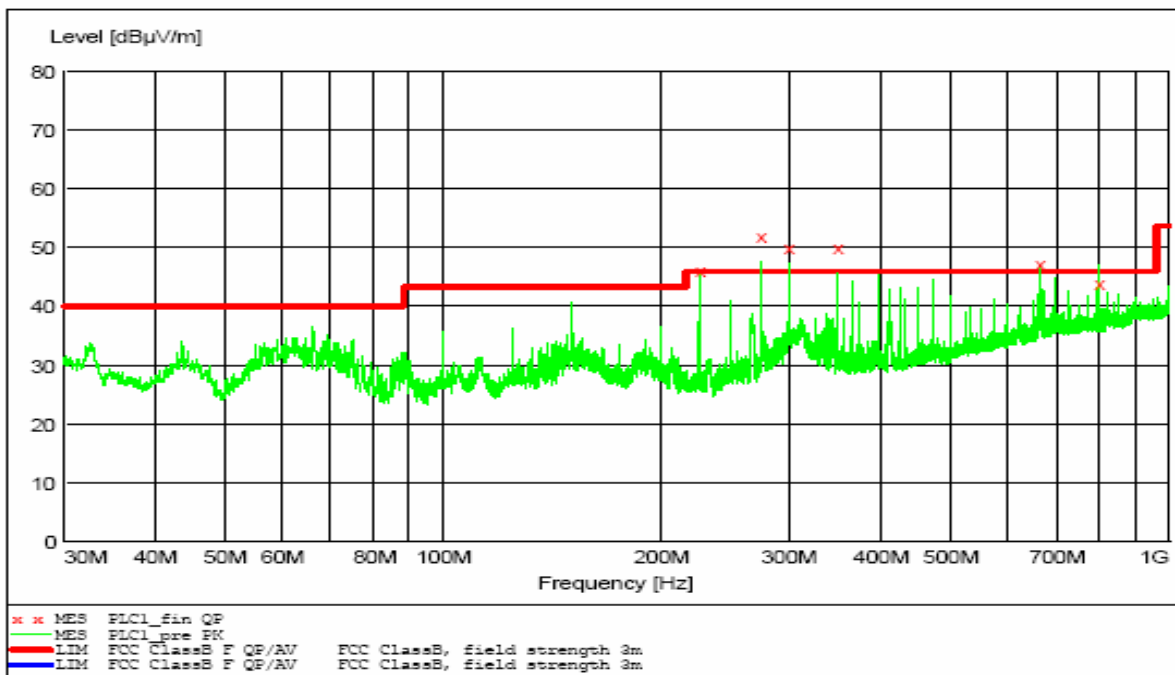
En la Figura 4.5 se observa en el intervalo de nuestro interés que las frecuencias 48.2 y 66.3 MHz rebasaron el límite establecido, así mismo, las frecuencias 138.0, 206.72 y 399.30 MHz superaron el nivel establecido. En general, el equipo BPL bajo prueba no cumplió con los niveles establecidos por la norma CISPR 22 para ETI clase B.

4.2.8.2 Prueba de medición cumpliendo la recomendación de la FCC Parte 15 para sistemas de BPL de baja tensión con frecuencias mayores de 30 MHz

La FCC Parte 15 establece los límites de emisión del campo eléctrico a 30m entre el equipo bajo prueba y la antena, sin embargo, la cámara semianecóica en donde se realizaron las pruebas no cuenta con esta dimensión para realizar las pruebas. Por lo tanto, se extrapolaron los valores del campo eléctrico a 3 m. esto se realiza con la ecuación 3.1 y 3.2. Se obtienen nuevos valores de campo eléctrico a 3 m. los cuales se utilizaron en estas pruebas.

Polarización horizontal

Las Figuras 4.6 y 4.7 exhiben los resultados de las mediciones de perturbaciones radiadas con el equipo BPL. En ambas situaciones, la antena biconilogs se ubicó en polarización horizontal.



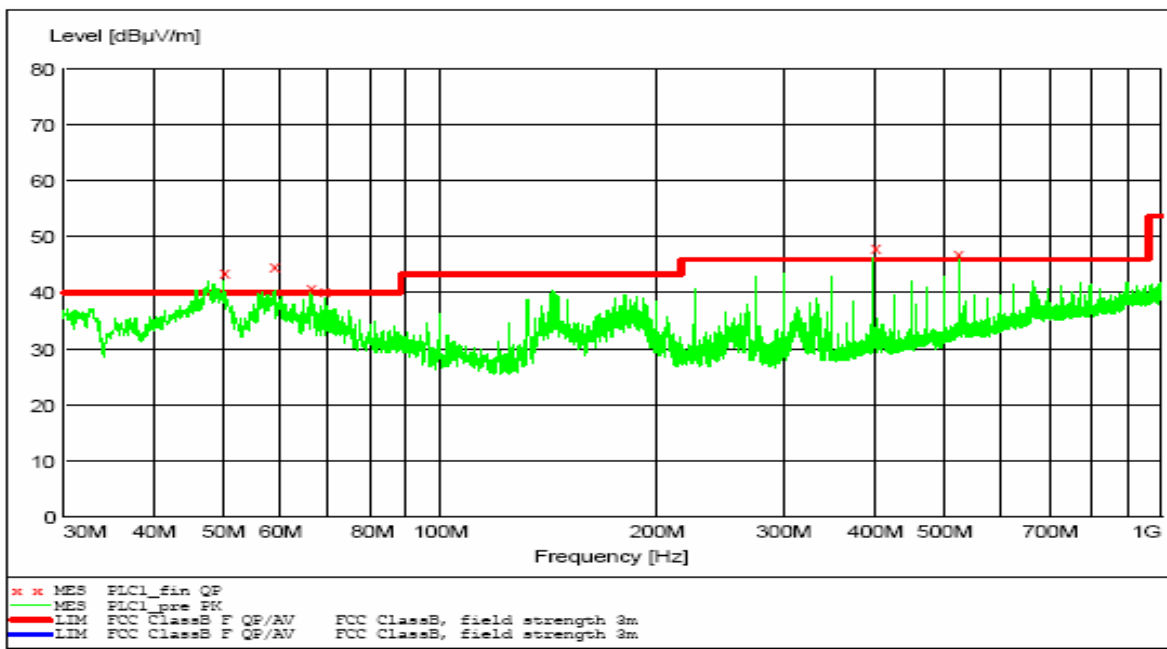
MEASUREMENT RESULT: "PLCl_fin QP"

Frequency MHz	Level dBµV/m	Polarisation
225.000000	46.10	HORIZONTAL
274.980000	52.20	HORIZONTAL
300.000000	50.00	HORIZONTAL
349.980000	50.00	HORIZONTAL
665.640000	47.30	HORIZONTAL
798.540000	44.20	HORIZONTAL

Figura 4.6. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.

En la Figura 4.6 se observa que en el intervalo de frecuencias de 30 a 80 MHz las perturbaciones radiadas cumplen con la recomendación. Sin embargo, las frecuencias 225.00, 274.98, 300.00 349.98, 665. 64 y 798.54 MHz rebasaron el límite recomendado por la FCC Parte 15.

Polarización vertical



MEASUREMENT RESULT: "PLC1_fin QP"

5/25/2007 3:18PM

Frequency MHz	Level dBµV/m	Polarisation
49.980000	43.60	VERTICAL
58.680000	44.90	VERTICAL
66.300000	41.00	VERTICAL
69.000000	40.20	VERTICAL
400.020000	48.20	VERTICAL
525.000000	47.00	VERTICAL

Figura 4.7. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma vertical.

En las frecuencias 49.98, 58.68, 66.30 y 69.00 MHz las perturbaciones radiadas rebasaron los límites que establece la FCC. Así mismo, en las frecuencias 400 y 525 MHz se rebasó el límite establecido, como se muestra en la Figura 4.7.

4.2.8.3 Prueba de medición cumpliendo la recomendación de la FCC Parte 15 para sistema de BPL de baja tensión para frecuencias debajo de 30 MHz

Ahora analizaremos los niveles de emisiones obtenidos para frecuencias debajo de 30 MHz. En estas pruebas se utilizó el mismo procedimiento de medición de la sección 4.2.7, pero se sustituyó la antena biconilogs por la antena loop, y se obedeció los niveles máximos establecidos por la FCC Parte 15.

Polarización horizontal sin interferencia

Las Figuras 4.8 y 4.9 muestran los resultados de las mediciones de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado (sin operación) y conectado (con transferencias de datos), respectivamente. En ambos casos la antena loop se ubicó en polarización horizontal.

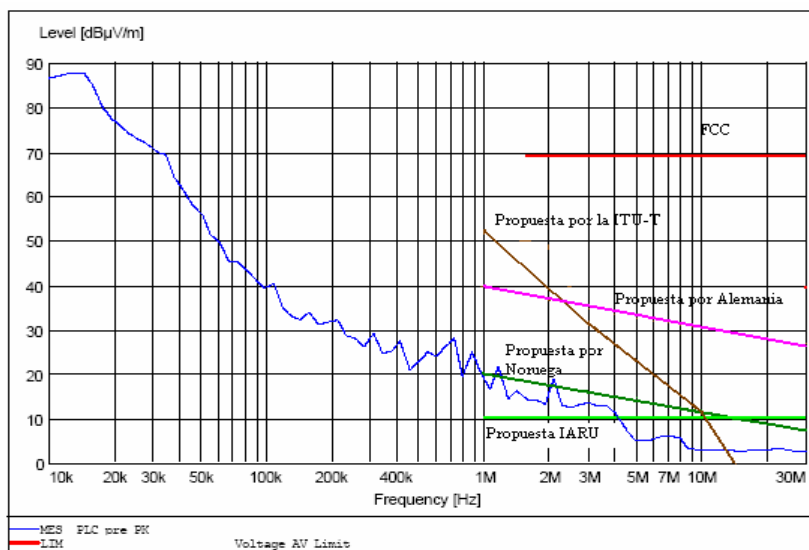


Figura 4.8. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.

Polarización horizontal con interferencia

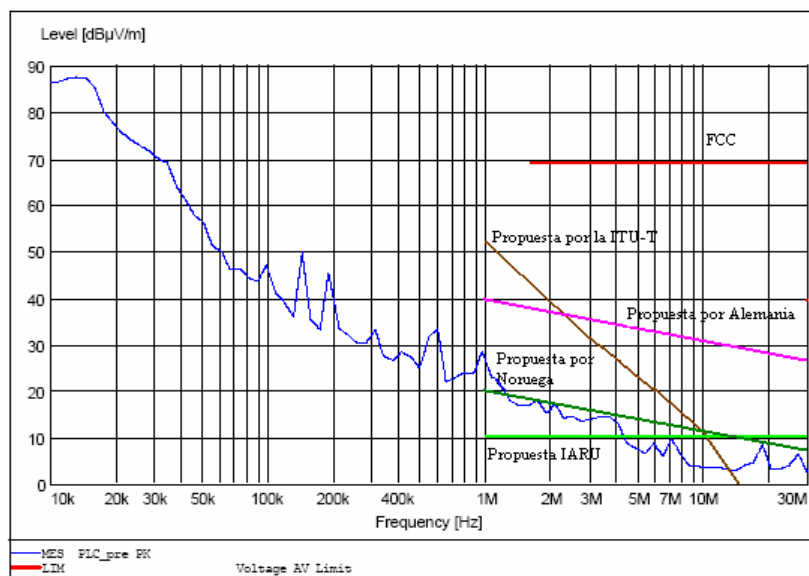


Figura 4.9. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma horizontal.

En la Figura 4.9 se observa que cumple con el nivel de perturbación establecido por la FCC Parte 15.

Polarización vertical sin interferencia

Las Figuras 4.10 y 4.11 muestran los resultados obtenidos de las perturbaciones radiadas para frecuencias debajo de 30 MHz con la antena ubicada en polarización vertical.

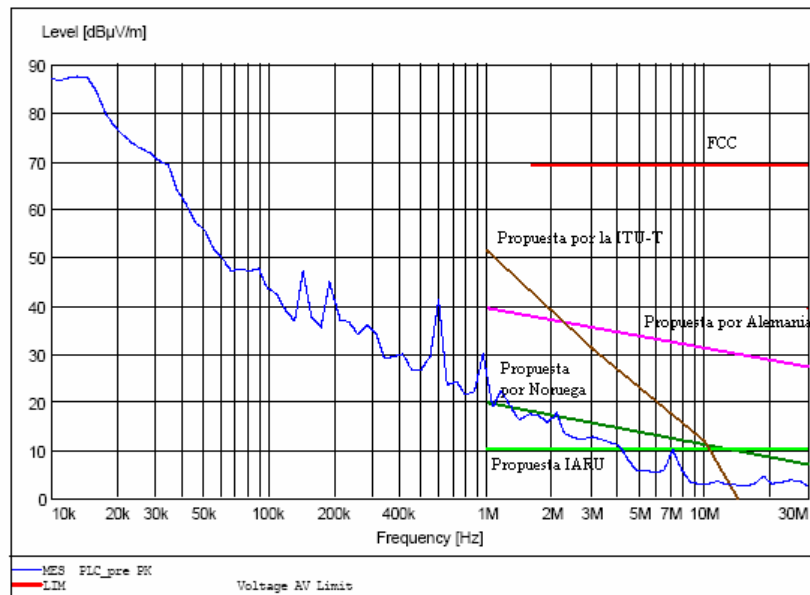


Figura 4.10. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL desconectado, con la antena de medición polarizada en forma vertical.

Polarización vertical con interferencia

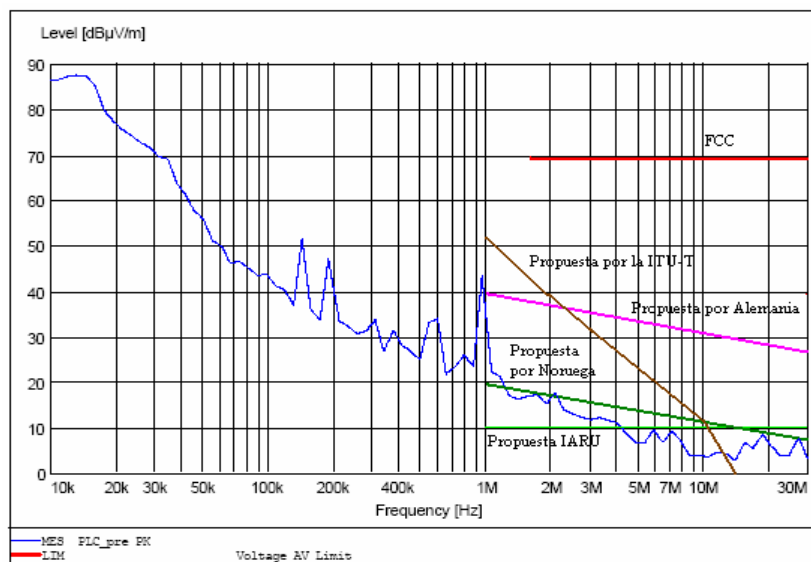


Figura 4.11. Niveles de perturbaciones radiadas con el equipo BPL en transferencia de datos, con la antena de medición polarizada en forma vertical.

En la Figura 4.11 se observa que los niveles de emisiones cumplen con lo que establece la FCC Parte 15. En general, los resultados obtenidos para frecuencias debajo de 30 MHz sí cumplen con la FCC. En el apéndice B se muestran las fotografías capturadas en el sitio de las pruebas. Sin embargo, para las pruebas con frecuencias mayores de 30 MHz no se cumplieron con los niveles que establece la CISPR 22 y la FCC Parte 15, específicamente cuando la antena receptora de EMI se operó en polarización vertical.

Las mediciones realizadas permiten identificar que existen algunas frecuencias en las que el equipo BPL no cumple con las normas y recomendaciones utilizadas como referencia. Estas son las pruebas que se realizaron en laboratorio a los equipos para verificar el cumplimiento de tales normas y/o recomendaciones. Sin embargo, para tener más elementos de referencia para calificar la operación de los equipos BPL y determinar la afectación sobre los equipos de radiocomunicación se realizan las pruebas en la siguiente sección.

4.3 MEDICIÓN DE SINAD EN EL RECEPTOR DE RADIO

En esta sección y en la siguiente se evalúa la afectación que presenta la operación de un radioreceptor (equipo susceptible a las perturbaciones radiadas) que trabaja en la banda de HF debido a la operación de un equipo BPL (fuente de perturbación electromagnética) en su cercanía.

En esta primera prueba se evalúa la SINAD del equipo de radiocomunicación y se verifica cómo cambia cuando hay un equipo BPL operando en su cercanía.

En algunos casos la SINAD también es referida como sensibilidad del equipo y en esta prueba se consideró de esta manera. El objetivo de la prueba es medir la sensibilidad de equipo en diferentes frecuencias sin la operación del equipo BPL y posteriormente se repite esta misma medición con el equipo BPL trabajando en la cercanía del radioreceptor.

La definición de SINAD es muy simple: es la relación del nivel de potencia total (Señal deseada + Ruido + Distorsión o SND) sobre la potencia de la señal no deseada (Ruido + Distorsión o ND).

Este parámetro permite visualizar la degradación que puede sufrir un receptor de radiocomunicación por señales indeseadas o externas incluyendo el ruido y la distorsión. El valor de la SINAD está expresado en dB y se puede mostrar como en la ecuación 4.1.

$$SINAD(dB) = \text{Log}_{10} \left(\frac{\text{Señal} + \text{Ruido} + \text{Distorsión}}{\text{Ruido} + \text{Distorsión}} \right) \quad (4.1)$$

En esta prueba de medición se utilizaron los mismos equipos que describe la sección 4.2.2, complementando con los siguientes equipos.

- Un equipo de radiocomunicación Motorola MICOM-2E/2R ALE HF-SSB Transceptor con frecuencias de operación de 1.6 – 30 MHz
- Una antena monopolo

El equipo de medición empleado fue un analizador de sistemas de radiocomunicación digital marca Motorola R-2670 FDMA.

4.3.1 Procedimiento de medición de SINAD

El siguiente procedimiento describe la medición de la sensibilidad SINAD en el radioreceptor

- Se instaló dos computadoras a una distancia de separación de 5 m.
- Se instaló el cable eléctrico THW con dos contactos aterrizado en los extremos del cable.
- Se conectaron los dos adaptadores BPL en ambos contactos eléctricos.
- Se instaló el Patch Cable UTP entre cada uno de los dispositivos de BPL hacia las computadoras.
- Se configuró una red LAN con dos computadoras.
- Se instaló el equipo de radiocomunicación MICOM-2E/2R a 10 cm. del sistema BPL

- Se transfirió un archivo de gran volumen sobre el cable eléctrico
- Y se realizaron las pruebas con el equipo medición en la banda HF, con barridos de frecuencias de 3 MHz, como se muestra en la tabla 4.1.

Esta prueba se realizó en el laboratorio Radiocomunicaciones Universales S. A. de C. V. En el apéndice C se muestran las fotografías de la medición de SINAD que se efectuaron.

4.3.2 Configuración sobre la prueba de sensibilidad SINAD

Se determinó el nivel de distorsión de audio en recepción que se genera al establecer la comunicación BPL, lo anterior tiene la finalidad de cuantificar la sensibilidad que presenta el equipo durante la comunicación. En la Figura 4.12 se muestra el diagrama de medición.

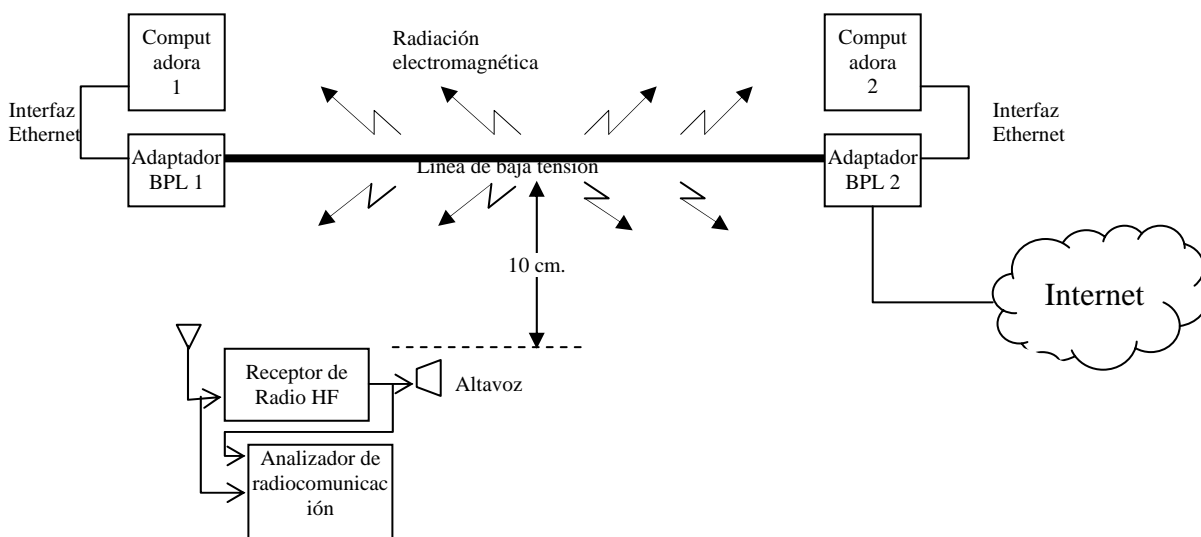


Figura 4.12. Diagrama de medición de SINAD en el equipo HF frente al sistema BPL de baja tensión

4.3.3 Resultado obtenido

La segunda columna de la Tabla 4.1 muestra el resultado de la prueba de SINAD en el equipo receptor de radiocomunicación, mientras que la tercera columna es el resultado de la prueba de SINAD pero considerando la afectación de BPL sobre la señal de radiocomunicación. Verificando ambos resultados se observa que no existe una afectación significativa del sistema de BPL de baja tensión sobre el sistema de radiocomunicación, como se indica gráficamente en la Figura 4.13.

Tabla 4.1 Niveles de afectación de un equipo de radiocomunicación frente al sistema de BPL doméstico en la banda de HF.

Frecuencias MHz	Nivel de señal en el radioreceptor HF	Nivel de señal HF + tráfico en sistema BPL (dBm)
2	-109.4	-110
5	-111.6	-111.4
8	-111.6	-111.4
11	-111.6	-111.4
14	-111.9	-112
17	-112.4	-112
20	-110.9	-110.9
23	-111.5	-111.1
26	-111.5	-111
26.965	-111	-110.9
27.965	-111	-110.9
29	-110.9	-110.9

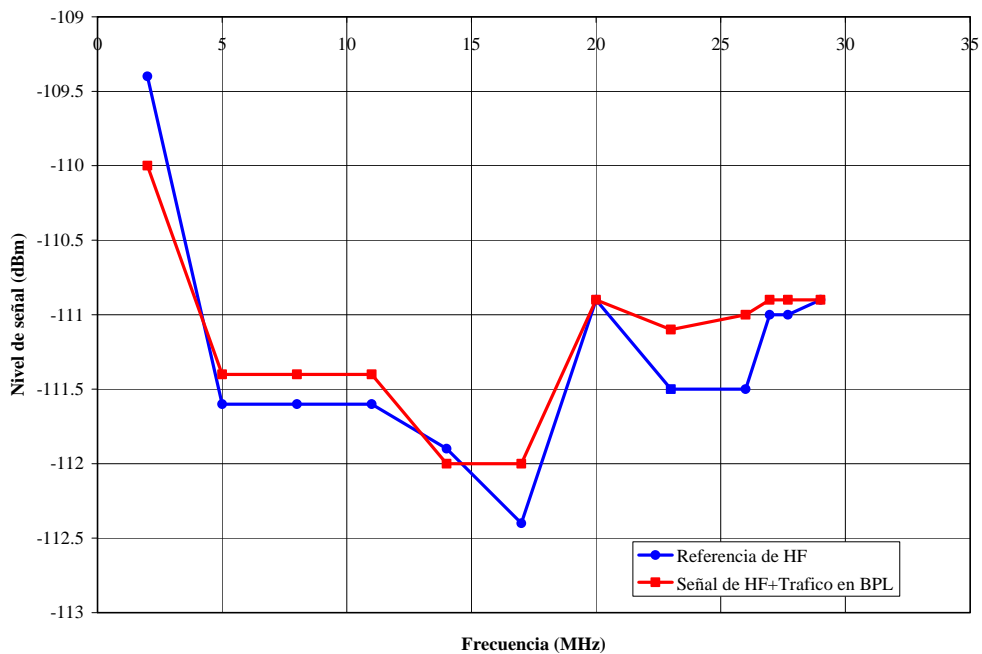


Figura 4.13. Niveles de SINAD en el equipo radioreceptor sin y con tráfico de BPL

Es importante señalar que esta prueba se realizó en un ambiente con mucho ruido, lo cual probablemente afectó la medición de sensibilidad. Este sería el caso si los niveles de

ruido introducidos por otros equipos o fuentes fueran superiores a los niveles de ruido introducidos por BPL.

4.4 PRUEBAS DE MEDICIÓN DE LA AFECTACIÓN DEL SISTEMA BPL SOBRE UN EQUIPO DE RADIOCOMUNICACIÓN

En esta tercera prueba se evalúa cómo se afecta la recepción de un radiorepctor para la banda de HF cuando en sus cercanías se encuentra operando un equipo BPL. Debemos recordar que en esta banda están asignados servicios para radioaficionados quienes son los principales oponentes a esta tecnología.

En la prueba se generará una señal con una portadora en la banda de HF que se modula amplitud por un tono de 1 KHz. Esta señal será recibida por el equipo de radio y se registrará la misma cuando solo esté operando el generador de señales, y en el segundo caso cuando también esté presente la operación del equipo BPL.

4.4.1 Consideraciones generales de medición

El fenómeno de perturbación electromagnética que puede presentarse por la operación de equipos BPL sobre los equipos de radiocomunicación en la banda de HF puede degradar la señal recibida por equipos en la banda de HF. Los elementos importantes para su evaluación son la fuente que genera las perturbaciones, en este caso el sistema BPL y el receptor susceptible de ser interferido, además de los equipos de medición necesarios para verificar el nivel de afectación.

La evaluación de interferencias que puede presentar el sistema de BPL sobre los sistemas de radiocomunicación en la banda de alta frecuencia, se dividió en dos procedimientos de medición. El primer constituye solamente la medición de la señal de radiocomunicación y el segundo reúne las dos señales; la señal de radiocomunicación y la señal de interferencia generada no intencionalmente por el sistema BPL. Ambas mediciones se realizan en el receptor de radiocomunicación.

Los adaptadores BPL utilizados en las pruebas establecen un enlace de comunicación en la red eléctrica, no presentan requisitos particulares tanto en la instalación como en su configuración en el sistema de cómputo sólo tiene que estar energizada la línea eléctrica.

El equipo de radiocomunicación utilizado en la prueba es un equipo para servicio móvil terrestre en la banda de HF. Sin embargo, sólo se utilizó el radioreceptor mientras que el radiotransmisor fue sustituido por el equipo Generador de Señales, esto se debe que no se puede identificar fácilmente una señal de voz recibida libre de interferencias. Otro de los elementos empleados fue un par de antenas monopolo con frecuencias de operación en HF instaladas en bases magnéticas sobre un plano de tierra.

Para las pruebas de medición de interferencias radiadas en sitio abierto, se tiene que considerar las condiciones ambientales en el momento de hacer las pruebas. Así como la capacidad del equipo de medición para evaluar el impacto.

4.4.1.1 Ubicación para la realización de las mediciones

Las pruebas realizadas fueron hechas en el Instituto Politécnico Nacional en el Departamento de la Maestría en Ciencias en Ingeniería de Telecomunicaciones, ESIME, Zacatenco. México, D. F.

4.4.1.2 Descripción de equipo bajo prueba

Los siguientes elementos se consideran el equipo bajo prueba.

- Un equipo Motorola MICOM-2E/2R ALE HF-SSB Transceptor con frecuencias transmisión de 1.6 – 30 MHz y 100 kHz a 30 MHz de recepción.
- Dos antenas monopolo vertical de 1.83m de longitud con frecuencias de operación en banda HF.
- Un par de bases magnéticas con rosca de 3/8” y con 4m de cable coaxial con conector tipo N macho cada uno.
- La instalación de la red eléctrica del departamento de Telecomunicaciones
- Dos PowerLine Switch (adaptador BPL) marca NETGEAR (XE104 85 Mbps Wall-Plugged Ethernet Switch)
- Dos computadoras portátiles con puertos de Ethernet

4.4.1.3 Especificaciones técnicas de los equipos de medición.

- Un generador de señales marca Rohde & Schwarz SMQ038 con intervalo de operación 300 kHz – 3.3 GHz.
- Un osciloscopio marca Agilent infiniium 54845A 1.6 GHz 8GSa/s.
- Un atenuador marca Agilent 8498a de 30 dB
- Un atenuador marca Weinschel Corp. 20 dB
- Una batería para vehículo
- Dos cables coaxiales de 1.2 m c/u con conectores tipo N macho

4.4.1.4 Instalaciones y conexiones

Todos los equipos se instalaron en el departamento de Telecomunicaciones, como se ilustra en la Figura 4.14(a), El transmisor se ubicó a la entrada del Departamento y consiste del generador de señales que transmitía un tono de 1 kHz modulado en AM al 90% con una portadora en banda de HF.

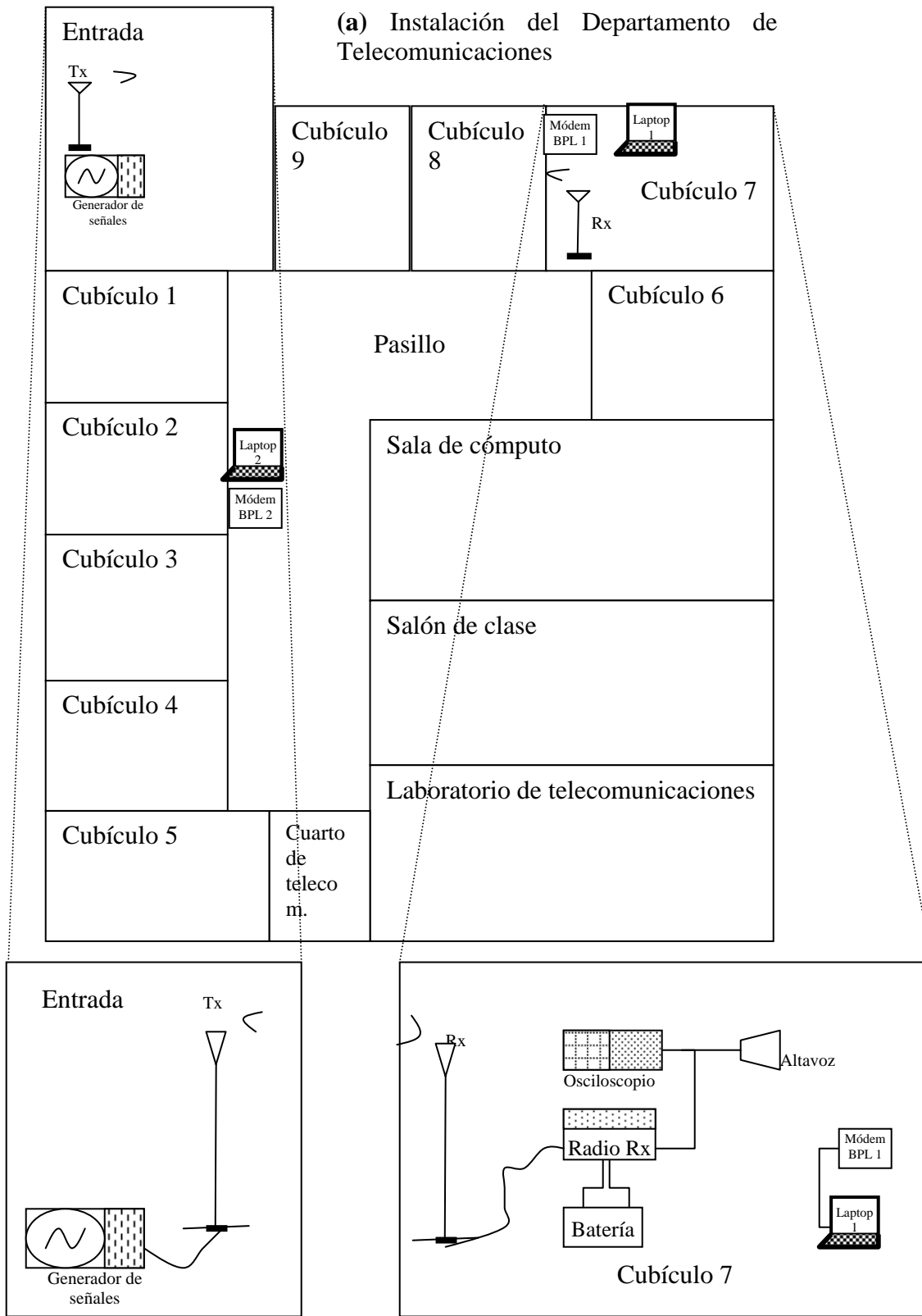


Figura 4.14. Croquis de instalación y conexión de los equipos.

El receptor se instaló en el cubículo 7, y el arreglo de la conexión se muestra en la Figura 4.14(c). En este caso el receptor utilizado fue el radio Motorola Micom, y se monitoreó la señal del audio que se tenía a la salida de este equipo. Idealmente se esperaba recuperar el tono “puro” de 1kHz.

La red BPL se integró por dos computadoras portátiles que usaron adaptadores BPL conectados a red eléctrica disponible en el Departamento de Telecomunicaciones. La primera computadora se instaló en el cubículo 7, donde estaba también el radio receptor. La segunda computadora se instaló en el pasillo, como se observa en la Figura 4.14(a). Se configuró una red LAN entre las dos computadoras para realizar la transferencia de archivos entre ellas.

4.4.2 Monitoreo de frecuencias libres en el espectro radioeléctrico

Con el propósito de evaluar la afectación de BPL sobre los sistemas de radiocomunicación en banda de HF, se hizo una selección de frecuencias que no estuvieran ocupadas. De esta manera se tendría la seguridad de que la afectación detectada se debe únicamente a BPL y no a otras causas, como por ejemplo a que la frecuencia estuviera siendo utilizada para alguna comunicación.

En la Figura 4.15 se muestra el procedimiento utilizado para determinar las frecuencias libres en las que se monitoreó la afectación de BPL. Las frecuencias eran seleccionadas si el osciloscopio reconocía claramente el tono de 1 kHz, en otro modo se descartaba esta frecuencia.

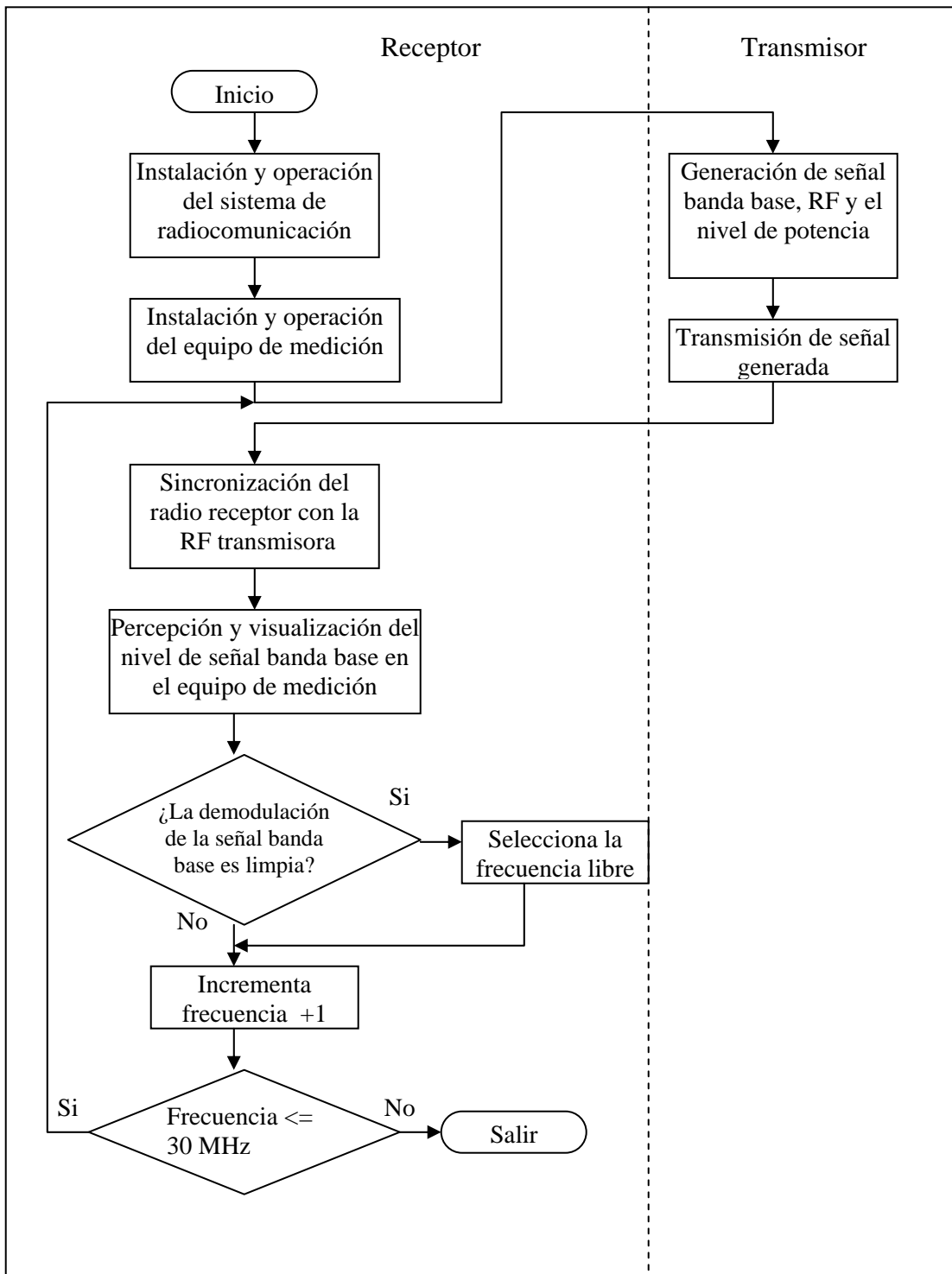


Figura 4.15. Diagrama de monitoreo para identificar las frecuencias libres y sin uso en el espectro radioeléctrico.

La Tabla 4.2 muestra las frecuencias seleccionadas para la realización de las pruebas. En la base de datos de los usuarios del espectro radioeléctrico se comprobó que estas frecuencias no están asignadas a ningún usuario.

Tabla 4.2 Frecuencias seleccionadas y utilizadas para realizar las pruebas de medición.

Frecuencias libres kHz	Servicios atribuidos según el CNAF	Número de usuarios asignados según el CNAF
5,000	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
10,000	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
15,000	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
20,000	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
21,860	FIJO	0
25,600	RADIOASTRONOMÍA	0
27,750	AYUDA A LA METEOROLOGÍA, FIJO, MÓVIL	0

4.4.3 Método de prueba para verificar la afectación de las señales de radiocomunicación por los equipos BPL en las frecuencias 5, 10, 15, 20, 21.86, 25.6 y 27.75 MHz.

La medición de la señal libre de interferencias, se denota como **medición sin interferencia de BPL**. La medición denotada como **medición con interferencia BPL** se realiza cuando ambos sistemas están en operación, es decir, la medición se realiza cuando el sistema BPL está en transferencia de datos. El procedimiento de medición se ilustra en la Figura 4.16.

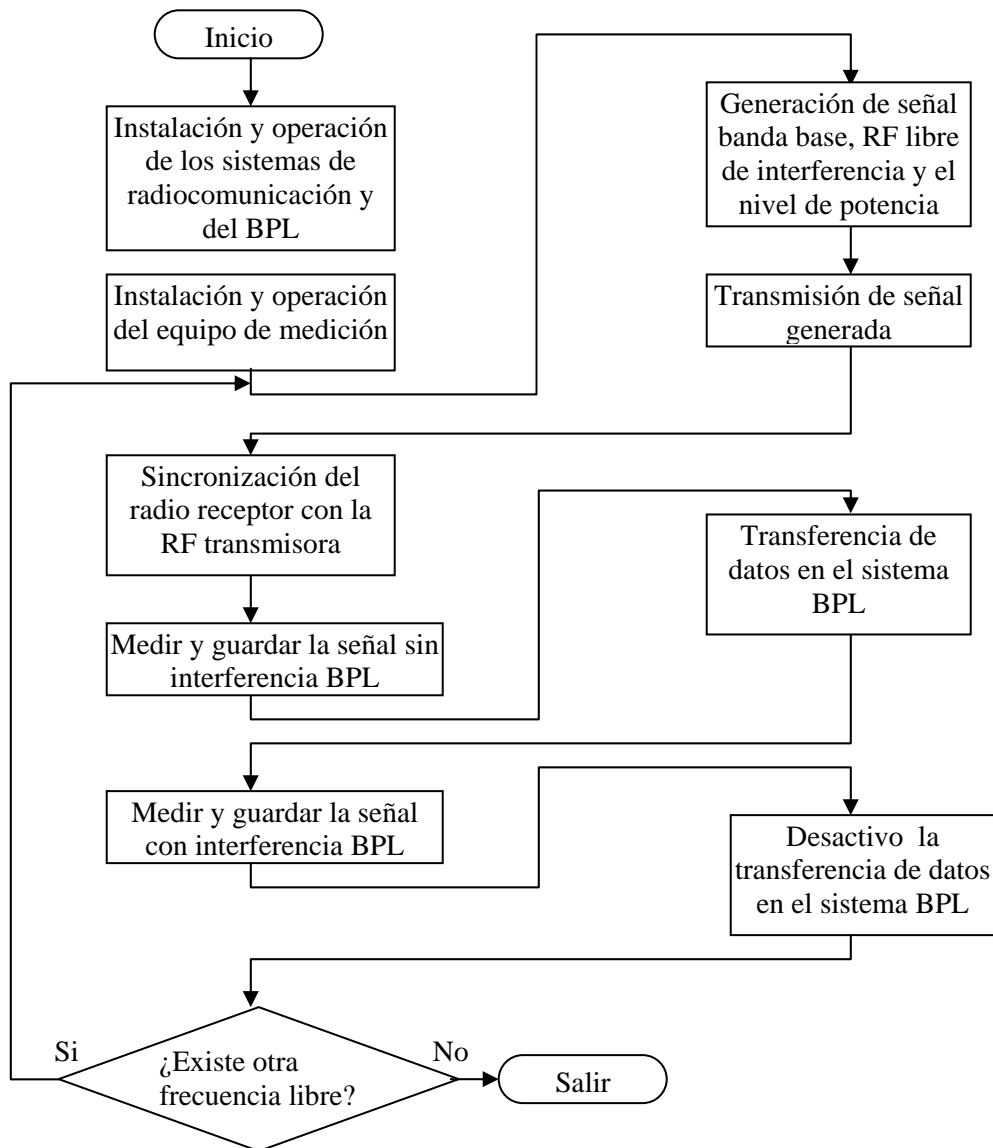


Figura 4.16. Diagrama de medición sobre la afectación de las señales de radiocomunicación por el sistema BPL.

Las mediciones realizadas de acuerdo al diagrama anterior demuestran que sí existe afectación a las señales de radiocomunicación. La afectación es diferente en cada medición, pero siempre está presente.

Con el mismo procedimiento de la Figura 4.16, se realizaron las pruebas de afectación en cada una de las frecuencias libres de la Tabla 4.2. Cada prueba en estas frecuencias se obtuvieron varios resultados en instantes de tiempo diferentes como se muestra en el apéndice D. Los resultados obtenidos fueron forma gráfica como se ve en el apéndice D y en forma numérica que no se muestra debido al gran volumen de cada resultado. Sin embargo, los resultados numéricos fueron muy importantes al evaluar el grado de afectación que presentó el sistema BPL sobre el equipo de radiocomunicación.

4.4.4 Determinación del grado de afectación

Para evaluar el grado de afectación de la señal sin interferencia “señal pura” con respecto a la señal con interferencia se determinará a través de la cuantificación de la potencia contenida en el lóbulo principal (P_{LP}) de la señal demodulada para cada una de las señales (sin y con interferencia), esto nos permitirá evaluar qué porcentaje de potencia de la señal con y sin interferencia se concentran en el ancho banda de la señal “pura”. La ecuación 4.2 nos permite evaluar la potencia recibida en el radioreceptor, tanto en las mediciones de señales sin interferencias como con interferencias de BPL en un ancho de banda de $[-B B]$ hertz alrededor del tono demodulado.

$$P_{LP}(\%) = \frac{\int_{-B}^B \Psi_s(f)df}{\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_s(f)df} .100 \quad (4.2)$$

donde

$\int_{-B}^B \Psi_s(f)df$ es la densidad espectral de potencia del lóbulo principal

$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_s(f)df$ es la densidad espectral de potencia de la señal completa

De principio, se supone que la señal “pura” concentra la mayor parte de nivel de potencia alrededor de 1 KHz, que la señal con interferencia en la misma frecuencia.

Además, si se considera que la $\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_s(f)df = 1$, entonces se puede graficar la potencia fuera de banda (P_{ob}) que nos indica la fracción de potencia fuera de un cierto ancho de banda, la expresión matemática que nos permitirá determinar es la ecuación 4.3.

$$P_{ob}(B) = 1 - \frac{\int_{-B}^B \Psi_s(f)df}{\int_{-\infty}^{\infty} \Psi_s(f)df} \quad (4.3)$$

Para obtener los resultados de estas dos expresiones es necesario trabajar en el dominio de frecuencia. Por lo tanto, los archivos de datos numéricos obtenidos en el equipo de medición se cambian de dominio. Este cambio se realizó en un programa de MATLAB, ver el código en el apéndice E.

4.4.5 Resultados de la medición

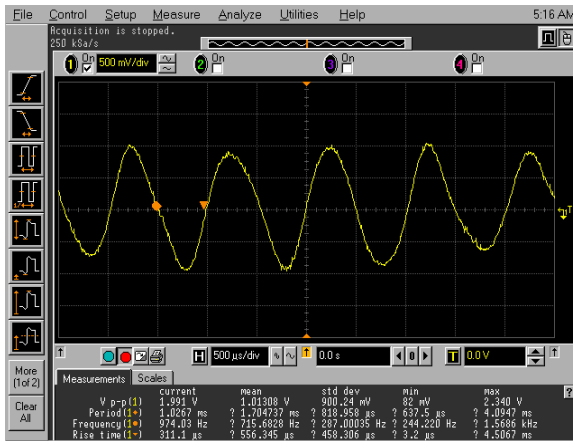
Aplicando la ecuación 4.2 a cada una de las mediciones realizadas se determinaron las P_{LP} recibidas en el radioreceptor. Las Tabla 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se observan estos resultados para cada una de las mediciones de frecuencias. El primer valor de cada Tabla corresponde al caso cuando la señal no presentó la interferencia de BPL y los demás valores corresponden a diferentes mediciones cuando estaba presente la interferencia BPL.

También en la Figura 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23 se muestran las gráficas obtenidas en la medición de la señal demodulada de 1 KHz para cada una de las frecuencias realizadas. En los incisos (a) y (b) se observan las gráficas que corresponden a las señales sin y con interferencias capturadas cuando se realizaron las pruebas. Es importante señalar que en los incisos (b) sólo se indica un resultado de varios que se obtuvieron, como se muestra en el Apéndice D.

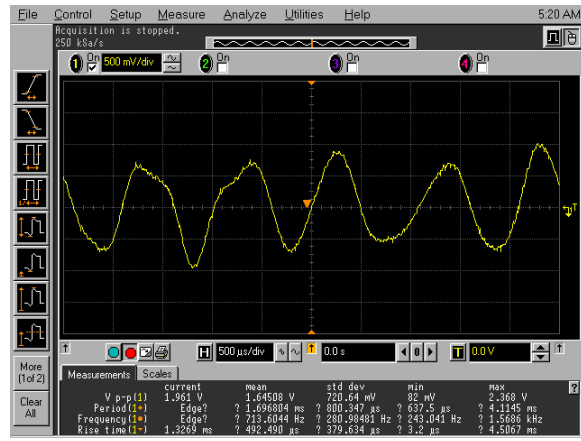
En los incisos (c) se observan los espectros de la señal demodulada de 1 KHz correspondientes a cada una de las mediciones de frecuencias. Las señales de color azul representan las mediciones de señales sin interferencias BPL, las demás señales corresponden a diferentes mediciones cuando estaba presente la interferencia.

En cada inciso (d) se muestran las P_{ob} para cada uno de los espectros correspondientes al (c), esto nos permite identificar cómo se distribuye el espectro fuera de banda, es decir, qué potencia existe afuera de un cierto ancho de banda. La letra B representa el ancho de banda normalizada, la interpretación de la gráfica es que cuando $B=0$ significa que el ancho de banda está concentrado en una frecuencia de 1 KHz (que corresponde al tono de 1 KHz demodulado) y presenta mayor potencia fuera de banda. Sin embargo, con el aumento de B la P_{ob} disminuye.

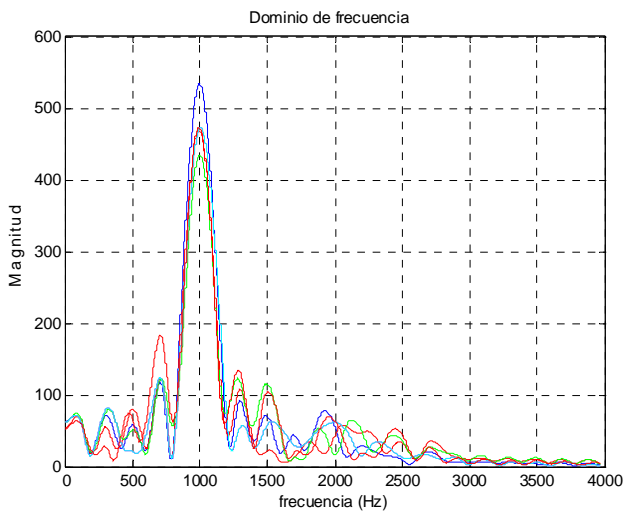
Resultados en 5 MHz



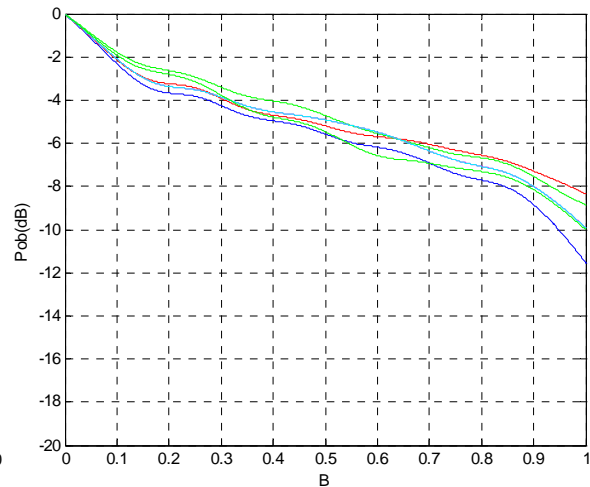
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



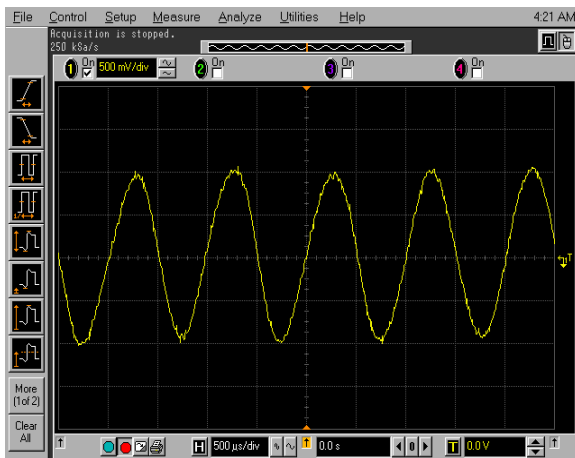
(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

Figura 4.17 Resultado de la medición en 5 MHz

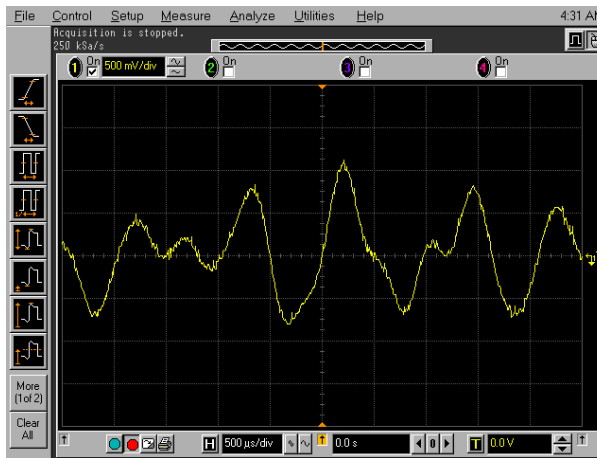
Tabla 4.3 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 5 MHz

Núm. de señal	Tipo de señal	$P_{LP}(\%)$
1	“pura”	57.555
2	Con interferencia	53.144
3	Con interferencia	46.574
4	Con interferencia	54.485
5	Con interferencia	54.489
6	Con interferencia	48.611

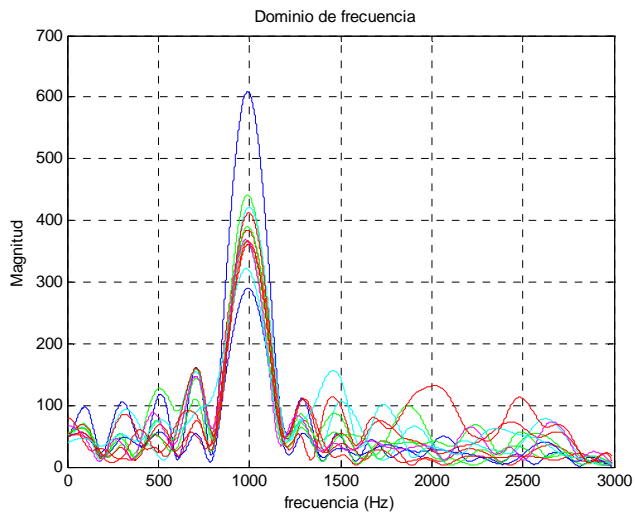
Resultados en 10 MHz



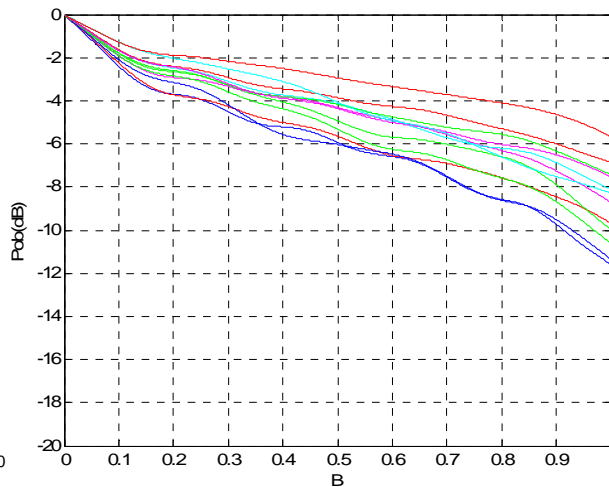
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

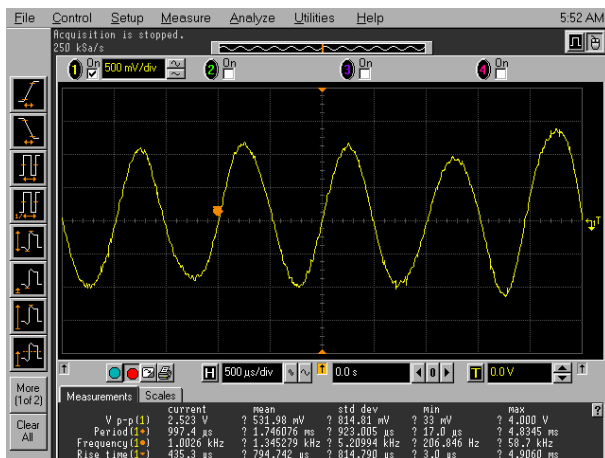
Figura 4.18. Resultado de la medición en 10 MHz

Tabla 4.4 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 10 MHz

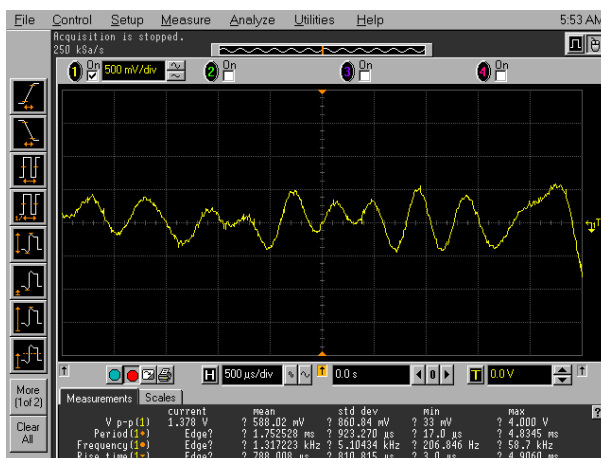
Núm. de señal	Tipo de señal	$P_{LP}(\%)$
1	“pura”	58.066
2	Con interferencia	57.747
3	Con interferencia	45.491
4	Con interferencia	49.349
5	Con interferencia	43.976

6	Con interferencia	48.542
7	Con interferencia	52.1
8	Con interferencia	46.158
9	Con interferencia	43.079
10	Con interferencia	43.423
11	Con interferencia	37.745
12	Con interferencia	35.511

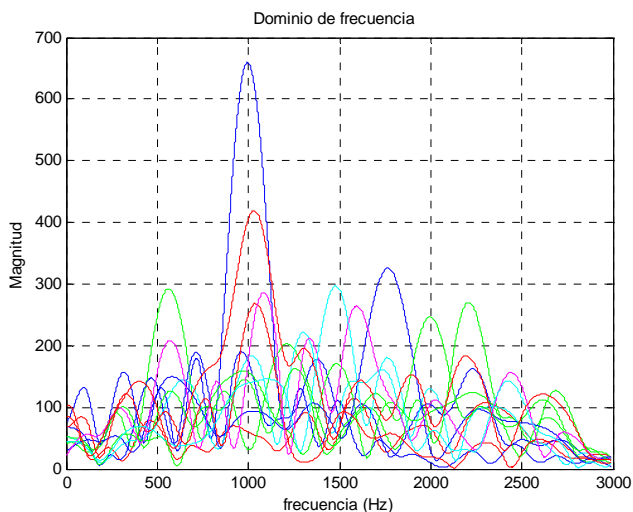
Resultados en 15 MHz



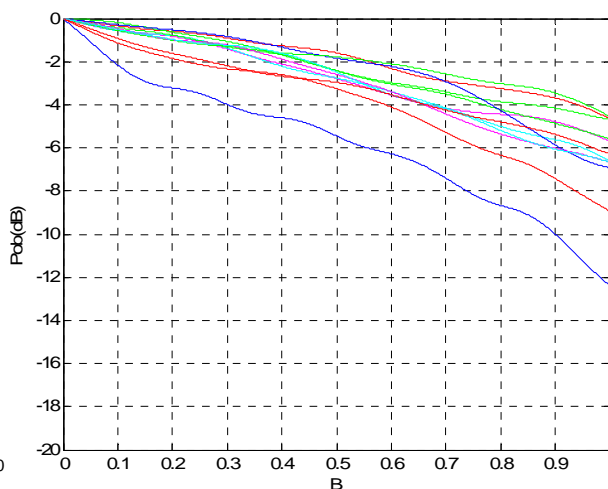
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

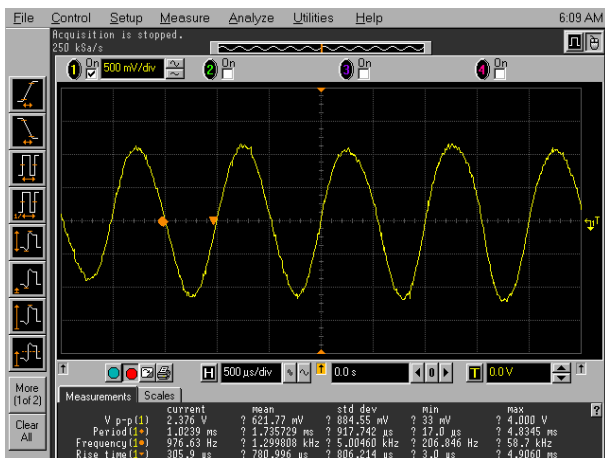
Figura 4.19. Resultado de la medición en 15 MHz

Tabla 4.5 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 15 MHz

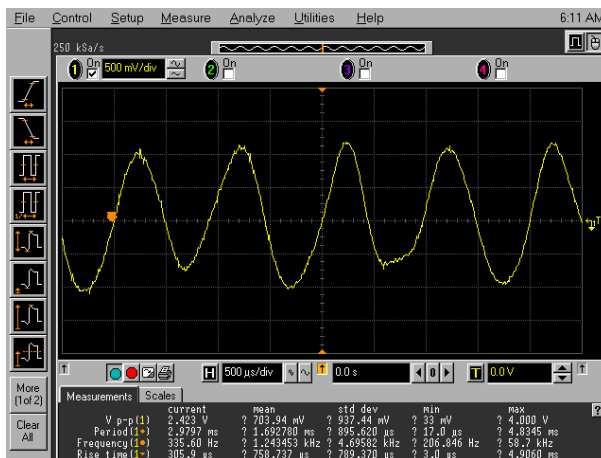
Núm. de señal	Tipo de señal	$P_{LP}(\%)$
1	“pura”	52.693
2	Con interferencia	13.163
3	Con interferencia	14.299
4	Con interferencia	17.896
5	Con interferencia	17.13

6	Con interferencia	21.125
7	Con interferencia	11.729
8	Con interferencia	16.987
9	Con interferencia	35.113
10	Con interferencia	20.488
11	Con interferencia	20.694
12	Con interferencia	31.705

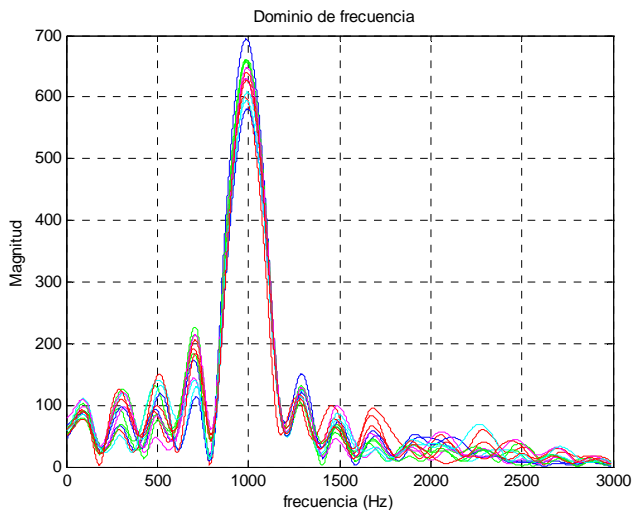
Resultados en 20 MHz



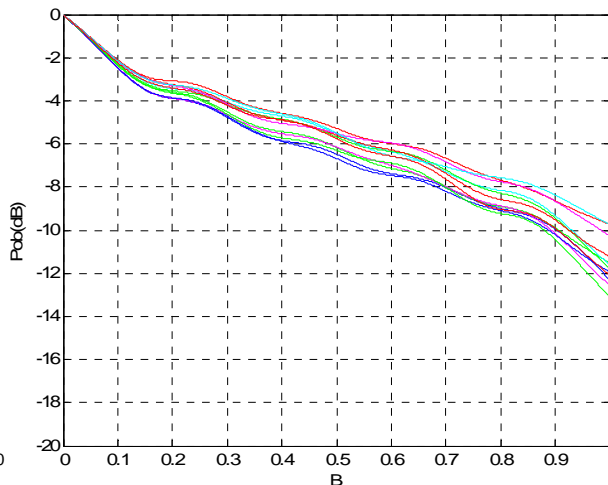
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

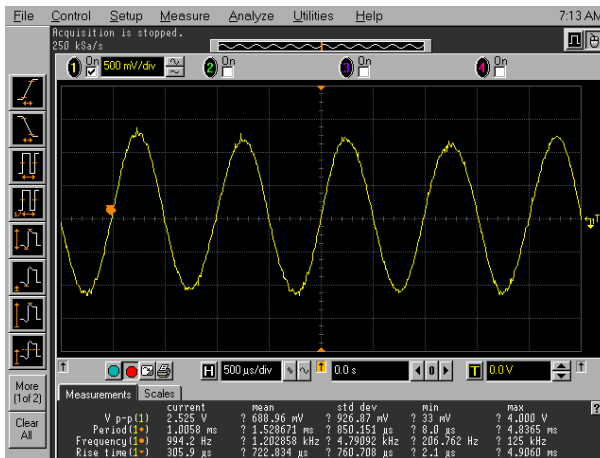
Figura 4.20. Resultado de la medición en 20 MHz

Tabla 4.6 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 20 MHz

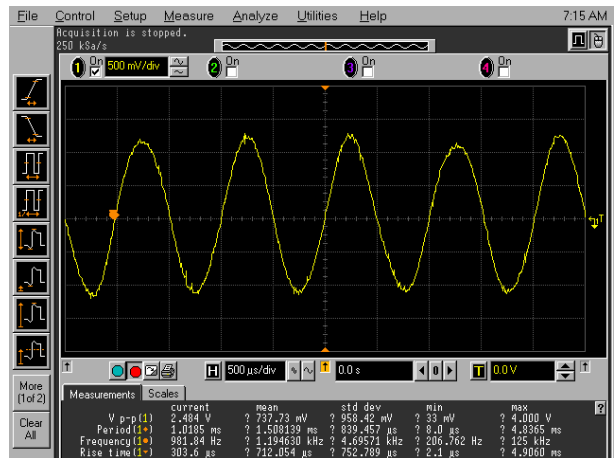
Núm. de señal	Tipo de señal	$P_{LP}(\%)$
1	“pura”	59.618
2	Con interferencia	51.147
3	Con interferencia	56.714
4	Con interferencia	59.566
5	Con interferencia	55.032

6	Con interferencia	56.141
7	Con interferencia	59.32
8	Con interferencia	57.243
9	Con interferencia	53.102
10	Con interferencia	53.685
11	Con interferencia	53.31
12	Con interferencia	54.772

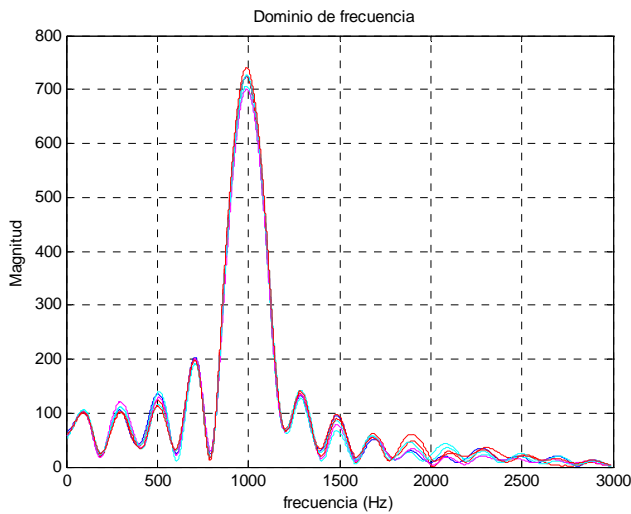
Resultados en 21.86 MHz



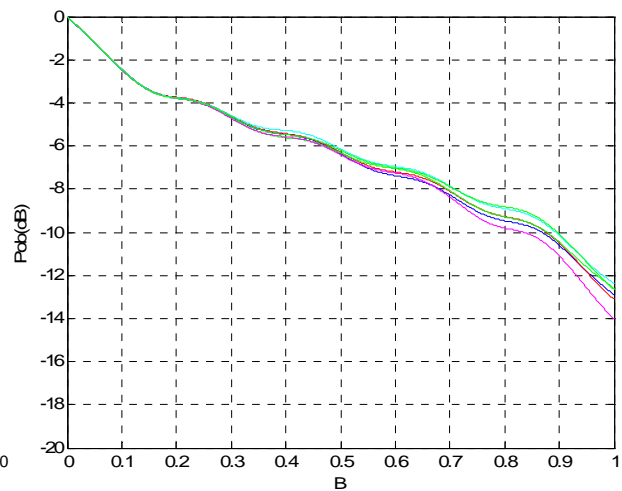
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



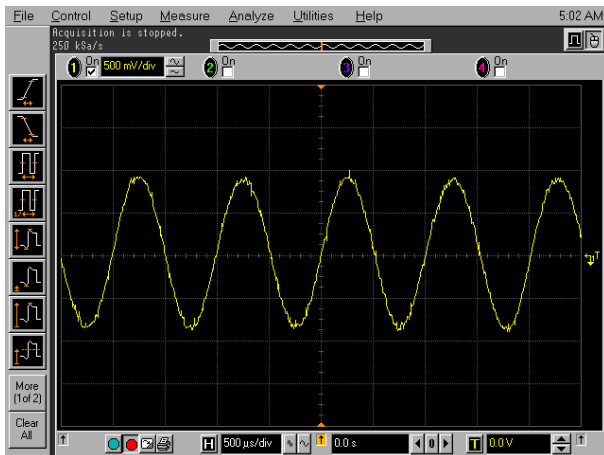
(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

Figura 4.21. Resultado de la medición en 21.86 MHz

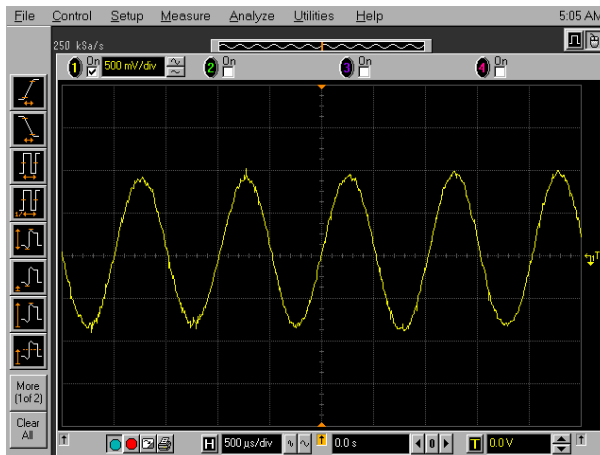
Tabla 4.7 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 21.86 MHz

Núm. de señal	Tipo de señal	$P_{LP}(\%)$
1	“pura”	58.394
2	Con interferencia	58.161
3	Con interferencia	58.483
4	Con interferencia	58.593
5	Con interferencia	58.473
6	Con interferencia	58.624

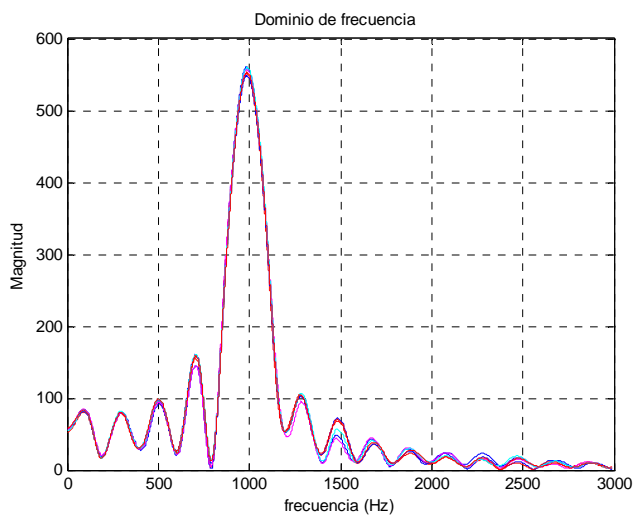
Resultados en 25.6 MHz



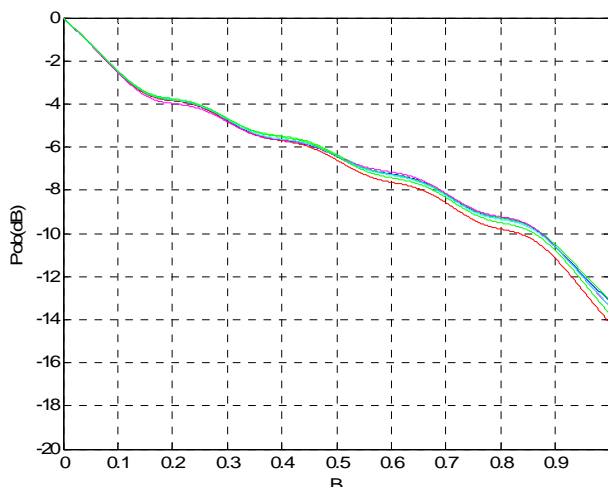
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



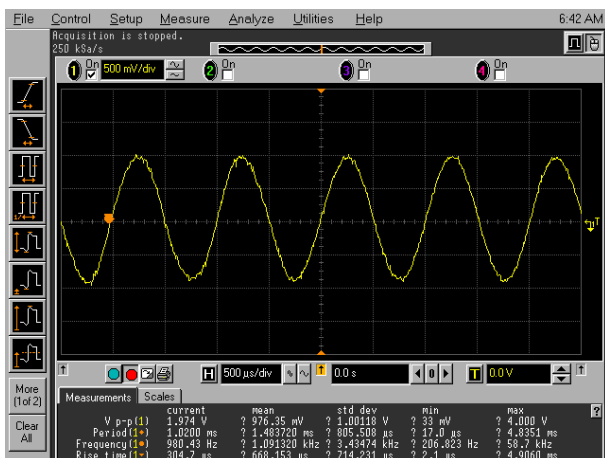
(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

Figura 4.22. Resultado de la medición en 25.6 MHz

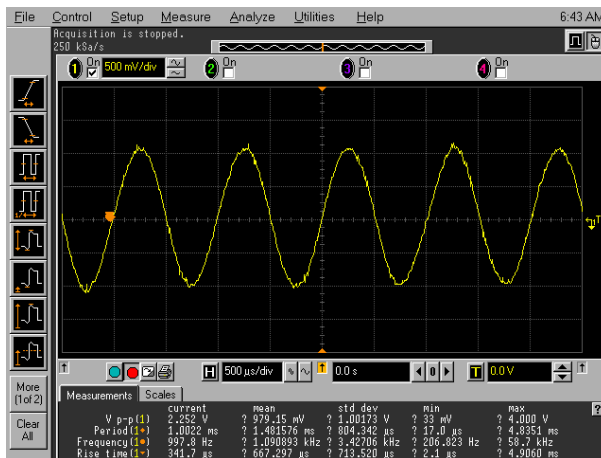
Tabla 4.8 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 25.6 MHz

Núm. de señal	Tipo de señal	$P_{LP}(\%)$
1	“pura”	59.023
2	Con interferencia	59.169
3	Con interferencia	58.803
4	Con interferencia	60.384
5	Con interferencia	58.651
6	Con interferencia	58.262

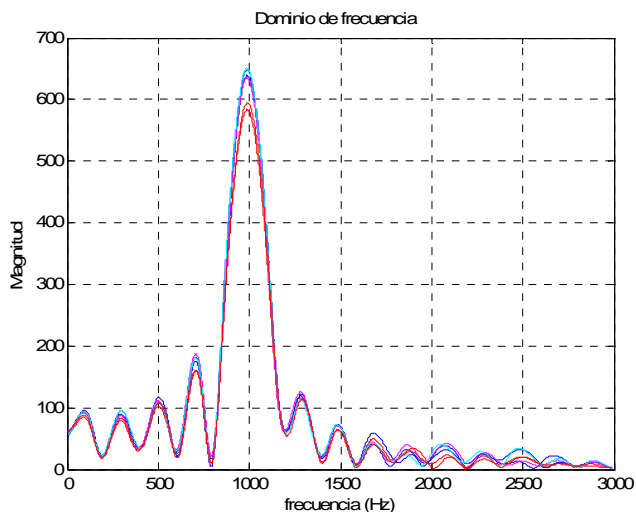
Resultados en 27.75 MHz



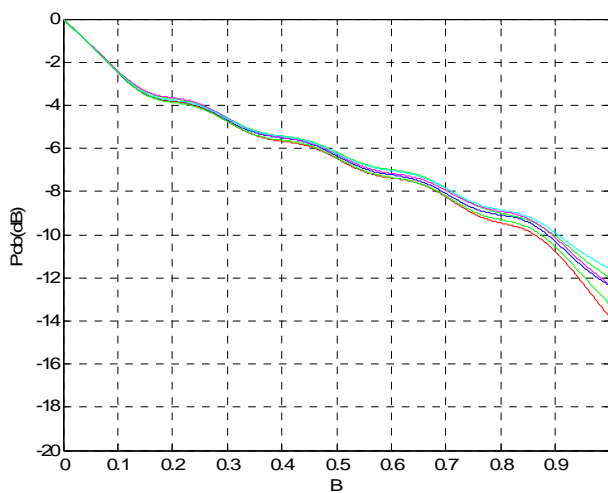
(a) Señal sin interferencia



(b) Señal afectada por BPL



(c) Espectro de frecuencias de las señales sin y con interferencias



(d) Potencia fuera de banda con respecto a un cierto ancho de banda alrededor de 1 KHz.

Figura 4.23. Resultado de la medición en 27.75 MHz

Tabla 4.9 Potencia contenida en el lóbulo principal de la señal “pura” y señales con interferencia en 27.75 MHz

Núm. de señal	Tipo de señal	EEP (%)
1	“pura”	58.822
2	Con interferencia	58.932
3	Con interferencia	57.652
4	Con interferencia	57.254
5	Con interferencia	58.393
6	Con interferencia	59.342

Los resultados de las mediciones que se muestran en los incisos (b) de las Figuras 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23 se notan claramente en algunos casos que estas señales sí sufrieron diferentes niveles de distorsión con respecto a las señales sin interferencias. Esto nos determinó que sí hubo cierto nivel de interferencia cuando el sistema de BPL estaba operando.

Sin embargo, el nivel de afectación no fue posible determinarlo directamente con el osciloscopio, por lo que fue necesario evaluarlo en un programa de MATLAB con los archivos de datos obtenidos en las mediciones. En primer lugar se determinó la densidad espectral de potencia correspondiente a cada medición, esto nos permitió calcular el nivel porcentual de potencia a la salida del receptor. Estos resultados se pueden comparar entre la señal sin y con interferencias.

En el resultado que se obtuvo en el inciso (c) de la Figura 4.19, que corresponde a la medición de 15 MHz, se observa la mayor afectación en todas las mediciones y los niveles porcentuales que se muestra en la Tabla 4.5 son muy distantes con el nivel de la señal “pura”. Mientras que en los resultados presentados en las Figuras 4.18 y 4.20 en los incisos (c) correspondientes a las frecuencias de medición 10 y 20 MHz respectivamente, se observan menor afectación que el obtenido en la frecuencia 15 MHz.

Por ultimo, los resultados conseguidos en las frecuencias de medición 5, 21.86, 25.6 y 27.75 mucho menos la afectación como se muestran en cada una de las Figuras y Tablas correspondientes.

La mayor afectación presentada en esta medición es posible que en esta frecuencia opere el equipo BPL. Esta teoría nos conduce a que no se tiene identificado la frecuencia de operación del equipo.

Capítulo 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación sobre el impacto en los servicios de radiocomunicación debido a la introducción de comunicaciones de banda ancha sobre la línea de potencia eléctrica BPL, se realizó un análisis del estado actual que guarda la tecnología, los servicios establecidos de acuerdo al CNAF en el intervalo de frecuencia de 1.7 a 80 MHz, el estado actual sobre su normalización para la introducción de BPL y las mediciones de afectación a las señales de radiocomunicación debido a esta tecnología.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de medición sí existe cierto grado de afectación en diferentes frecuencias. Por lo tanto, es importante hacer otras pruebas de medición de afectación en otras frecuencias para determinar aquellas que pueden ser susceptibles a las interferencias de BPL. Esto se deberá hacer en un sitio menos contaminado de interferencias externas como podría ser en las instalaciones de Centro Nacional de Metrología.

El resultado de la medición en 15 MHz presenta la mayor afectación, probablemente se deba a que en esta frecuencia el equipo de BPL tiene uno de sus frecuencias de operación. Seguido de 10 y 20 MHz que presenta menos interferencia que la primera.

Las frecuencias 5, 21.86, 25.60 y 27.75 MHz presentan menores afectaciones que las frecuencias mencionadas en el párrafo anterior.

Finalmente, es muy evidente que la tecnología BPL es una tecnología de acceso competitivo y muy importante en los lugares donde los servicios de telecomunicaciones son escasos. En México, la CFE y Luz y Fuerza del Centro, podrán rentar a varios Proveedores

de Servicios de Internet su infraestructura ya que le fue otorgada la concesión para instalar, operar, y explotar la red pública de telecomunicaciones¹

5.2 RECOMENDACIONES

La evaluación de la interferencia de BPL sobre los equipos de radiocomunicación se recomienda realizar en un sitio abierto en donde la presencia de otras interferencias electromagnéticas sea menor o nula, con el objeto de averiguar el nivel de afectación que se presente en otras frecuencias.

Para implementar el servicio de banda ancha a través de la línea eléctrica es necesario contar con métodos y procedimientos comúnmente reconocidos por las Administraciones del sector de telecomunicaciones para pruebas de medición y niveles de emisión electromagnética no intencionales. Además, será de suma importancia para los operadores y diseñadores de equipos BPL.

Es importante considerar los servicios atribuidos en el CNAF en el intervalo de frecuencias donde se considera la mejor operación de BPL, debido a que existen bandas de frecuencias que son asignadas a título primario que no pueden ser interferidos por otros. Tales pueden ser servicio móvil marítimo, radioastronomía, frecuencias patrón y señales horarias y móvil aeronáutico. La preocupación de la interferencia permite mayor investigación en estos servicios

Por la importancia de algunos servicios de radiocomunicación, que se encuentran en el intervalo de frecuencia de 1.7 a 80 MHz, se debe considerar posible protección por las interferencias que puedan presentarse en estos servicios.

¹ Título de concesión otorgado a favor a la CFE, publicado el 11 de enero de 2007 en el Diario Oficial de la Federación.

BIBLIOGRAFIA

- [1] <http://www.eie.ucr.ac.cr/uploads/file/proybach/pb0618t.pdf>
- [2] <http://www.eluniversal.com.mx/articulos/34893.html>
- [3] <http://www.cinit.org.mx/articulo.php?idArticulo=33>
- [4] www.citel.oas.org/newsletter/2006/noviembre/bpl_e.asp
- [5] <http://www.fcc.gov/oet/info/rules/part15/part15-2-16-06.pdf>
- [6] http://www.acma.gov.au/webwr/lib284/bpl%20discussion%20paper%20electronic%20version_.pdf
- [7] <http://strategis.ic.gc.ca/epic/site/smt-gst.nsf/en/sf08434e.html> en la 3.2.1
- [8] http://plcdecostarica.com/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=28
- [9] http://www.birds-eye.net/definition/b/bpl-broadband_over_power_lines.shtml
- [10] http://www.ncs.gov/library/tech_bulletins/2007/tib_07-01.pdf
- [11] J. Balcells, F. Daura, R. Esparza, R. Pallás, Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos, Alfaomega Marcombo, 1992.
- [12] <http://cictr.ee.psu.edu/research/bans/BPL-PSHenry.PDF>
- [13] R. L. FREEMAN. Radio System Design for Telecommunications, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [14] http://es.wikipedia.org/wiki/Comisi%C3%B3n_Electrot%C3%A9cnica_Internacional
- [15] Curso de Compatibilidad e Interferencia Electromagnética y Antenas, Centro Nacional de Metrología (CENAM), El Marqués, Querétaro, México, del 7 al 10 de mayo de 2007.
- [16] <http://en.wikipedia.org/wiki/CISPR>
- [17] http://p1k.arrl.org/~ehare/bpl/ppt/EMCS_Chicago_Spectrum_Managers.ppt
- [18] <http://www.arrl.org/announce/regulatory/et03-104>
- [19] <http://www.etcetera.com.mx/amicus.pdf>
- [20] http://www.cft.gob.mx/cofetel/html/tec/cuadro_nacional_de_frecuencias_07.pdf

- [21] <http://www.costanerauno.com.ar/informacion.asp?q=106&g=4>
- [22] <http://www.ntia.doc.gov/ntiahome/fccfilings/2004/bpl/>
- [23] http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-04-245A1.pdf
- [24] International Electrotechnical Commission CISPR 22: Information technology equipment - Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement, cuarta edición, 2003-04
- [25] NMX-I-240-NYCE-2000 Compatibilidad Electromagnética – Interferencia Electromagnética – Límites y Métodos de Medición de las Características de las Perturbaciones Radioeléctricas Producidas por Equipos De Tecnología de la Información

Apéndice **A**

Número de usuarios establecidos en el intervalo 2 a 54 MHz de acuerdo a la COFETEL

Los datos que se presentan en la Tabla A-1 fueron proporcionados en el año 2006 por la Comisión Federal de Telecomunicaciones, en ella se presentan las bandas de frecuencias, los servicios atribuidos y el número de usuarios, respectivamente.

La Tabla A-1 Número de usuarios establecidos en cada banda de frecuencias

Banda Frecuencias (kHz)	Servicios Atribuidos	Núm de Usuarios
1,705-1,800	RADIOLOCALIZACIÓN, RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	0
1,800-1,850	AFICIONADOS	0
1,850-2,000	FIJO, Móvil salvo móvil aeronáutico, RADIOLOCALIZACIÓN, RADIONAVEGACIÓN, Aficionados	0
2,000-2,065	FIJO, MÓVIL TERRESTRE, MÓVIL MARÍTIMO	65
2,065-2,107	MÓVIL MARÍTIMO	3
2,107-2,170	FIJO, MÓVIL	108
2,170-2,1735	MÓVIL MARÍTIMO	0
2,1735-2,1905	MÓVIL (socorro y llamada)	70
2,1905-2,194	MÓVIL MARÍTIMO	0
2,194-2,495	FIJO, MÓVIL	288
2,495-2,501	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (2500 kHz)	0
2,501-2,505	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
2,505-2,850	FIJO, MÓVIL TERRESTRE, MÓVIL MARÍTIMO	521
2,850-3,025	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	431
3,025-3,155	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	22
3,155-3,400	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	721
3,400-3,500	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	278
3,500-4,000	FIJO, MÓVIL, AFICIONADOS	1402

4,000-4,063	FIJO, MÓVIL MARÍTIMO	224
4,063-4,438	MÓVIL MARÍTIMO	373
4,438-4,650	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	1502
4,650-4,700	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	207
4,700-4,750	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	3
4,750-4,995	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	1058
4,995-5,003	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (5000 kHz)	12
5,003-5,005	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
5,005-5,060	FIJO	363
5,060-5,250	FIJO, Móvil terrestre.	1606
5,250-5,450	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	1246
5,450-5,480	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	120
5,480-5,680	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	259
5,680-5,730	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	34
5,730-5,900	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	868
5,900-5,950	RADIODIFUSIÓN	375
5,950-6,200	RADIODIFUSIÓN	35
6,200-6,525	MÓVIL MARÍTIMO	213
6,525-6,685	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	430
6,685-6,765	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	24
6,765-7,000	FIJO	1008
7,000-7,100	AFICIONADOS, AFICIONADOS POR SATÉLITE	2
7,100-7,300	AFICIONADOS	0
7,300-7,350	RADIODIFUSIÓN	264
7,350-8,100	FIJO, Móvil terrestre.	2679
8,100-8,195	FIJO	265
8,195-8,815	MÓVIL MARÍTIMO	225
8,815-8,965	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	69
8,965-9,040	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	43
9,040-9,400	FIJO	646
9,400-9,500	RADIODIFUSIÓN	110
9,500-9,900	RADIODIFUSIÓN	259
9,900-9,995	FIJO	84
9,995-10,003	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (10000 kHz)	0
10,003-10,005	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
10,005-10,100	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	18
10,100-10,150	FIJO, Aficionados	54
10,150-11,175	FIJO	1258
11,175-11,275	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	9
11,275-11,400	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	43
11,400-11,600	FIJO	161
11,600-11,650	RADIODIFUSIÓN	32
11,650-12,050	RADIODIFUSIÓN	92
12,050-12,100	RADIODIFUSIÓN	77
12,100-12,230	FIJO	188
12,230-13,200	MÓVIL MARÍTIMO	135
13,200-13,260	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	12

13,260-13,360	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	12
13,360-13,410	FIJO, RADIOASTRONOMÍA	57
13,410-13,570	FIJO, Móvil terrestre.	173
13,570-13,600	RADIODIFUSIÓN	36
13,600-13,800	RADIODIFUSIÓN	68
13,800-13,870	RADIODIFUSIÓN	40
13,870-14,000	FIJO, Móvil terrestre.	44
14,000-14,250	AFICIONADOS, AFICIONADOS POR SATÉLITE	4
14,250-14,350	AFICIONADOS	0
14,350-14,990	FIJO	277
14,990-15,005	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (15000 kHz)	0
15,005-15,010	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
15,010-15,100	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	6
15,100-15,600	RADIODIFUSIÓN	48
15,600-15,800	RADIODIFUSIÓN	64
15,800-16,360	FIJO	68
16,360-17,410	MÓVIL MARÍTIMO	40
17,410-17,480	FIJO	2
17,480-17,550	RADIODIFUSIÓN	11
17,550-17,900	RADIODIFUSIÓN	11
17,900-17,970	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	20
17,970-18,030	MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	1
18,030-18,068	FIJO	1
18,068-18,168	AFICIONADOS, AFICIONADOS POR SATÉLITE	9
18,168-18,780	FIJO	81
18,780-18,900	MÓVIL MARÍTIMO	21
18,900-19,020	RADIODIFUSIÓN	75
19,020-19,680	FIJO	111
19,680-19,800	MÓVIL MARÍTIMO	21
19,800-19,990	FIJO	18
19,990-19,995	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
19,995-20,010	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (20000 kHz)	0
20,010-21,000	FIJO	74
21,000-21,450	AFICIONADOS, AFICIONADOS POR SATÉLITE	2
21,450-21,850	RADIODIFUSIÓN	14
21,850-21,870	FIJO	0
21,870-21,924	FIJO (seguridad de los vuelos de aeronave)	0
21,924-22,000	MÓVIL AERONÁUTICO (R)	0
22,000-22,855	MÓVIL MARÍTIMO	159
22,855-23,200	FIJO	64
23,200-23,350	FIJO (seguridad de los vuelos de aeronave), MÓVIL AERONÁUTICO (OR)	0
23,350-24,890	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	53
24,890-24,990	AFICIONADOS, AFICIONADOS POR SATÉLITE	3
24,990-25,005	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS (25000 kHz)	0
25,005-25,010	FRECUENCIA PATRÓN Y SEÑALES HORARIAS	0
25,010-25,070	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	6
25,070-25,210	MÓVIL MARÍTIMO	64

25,210-25,550	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	4
25,550-25,670	RADIOASTRONOMÍA	0
25,670-26,100	RADIODIFUSIÓN	0
26,100-26,175	MÓVIL MARÍTIMO	5
26,175-27,500	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	116
27,500-28,000	AYUDA A LA METEOROLOGÍA, FIJO, MÓVIL	0
28,000-29,700	AFICIONADOS, AFICIONADOS POR SATÉLITE	0
29,700-30,005	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	0
30,005-30,010	FIJO, MÓVIL , OPERACIONES ESPACIALES (identificación de satélites)	0
30,010-50,000	FIJO, MÓVIL TERRESTRE	2596
50,000-54,000	AFICIONADOS	4
54,000-72,000	FIJO, MÓVIL, RADIODIFUSIÓN (TELEVISIÓN VHF)	0
72,000-73,000	FIJO, MÓVIL	0
73,000-74,600	RADIOASTRONOMÍA	0
74,600-74,800	FIJO, MÓVIL	0
74,800-75,200	RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA	0
75,200-75,400	FIJO, MÓVIL	0
75,400-76,000	FIJO, MÓVIL	0
76,000-88,000	FIJO, MÓVIL, RADIODIFUSIÓN (TELEVISIÓN VHF)	0
Total de usuarios		25,077

Apéndice **B**

Fotografías tomadas en el sitio de prueba sobre perturbaciones radiadas



Fig. B-1 Cuarto de monitoreo remoto.



Fig. B-2 Cámara semianecóica

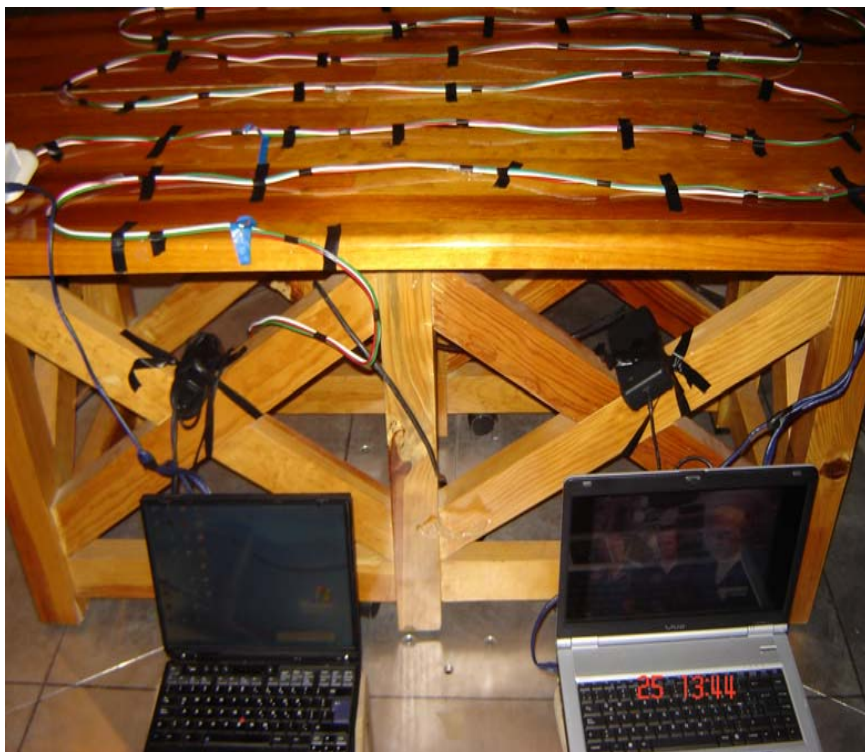


Fig. B-3 Instalación de una red de dos computadoras portátiles a través del cable eléctrico.



Fig. B-4 Distribución del cable eléctrico sobre la giratoria.



Fig. B-5 Antena loop, esta antena se utilizó para mediciones de perturbaciones radiadas debajo de 30 MHz.



Fig. B-6 Antena Biconilogs, esta antena se empleó para mediciones de perturbaciones radiadas arriba de 30 MHz.

Apéndice C

Fotografías de la medición de SINAD



Fig. C-1 Configuración de los equipos para la medición de SINAD

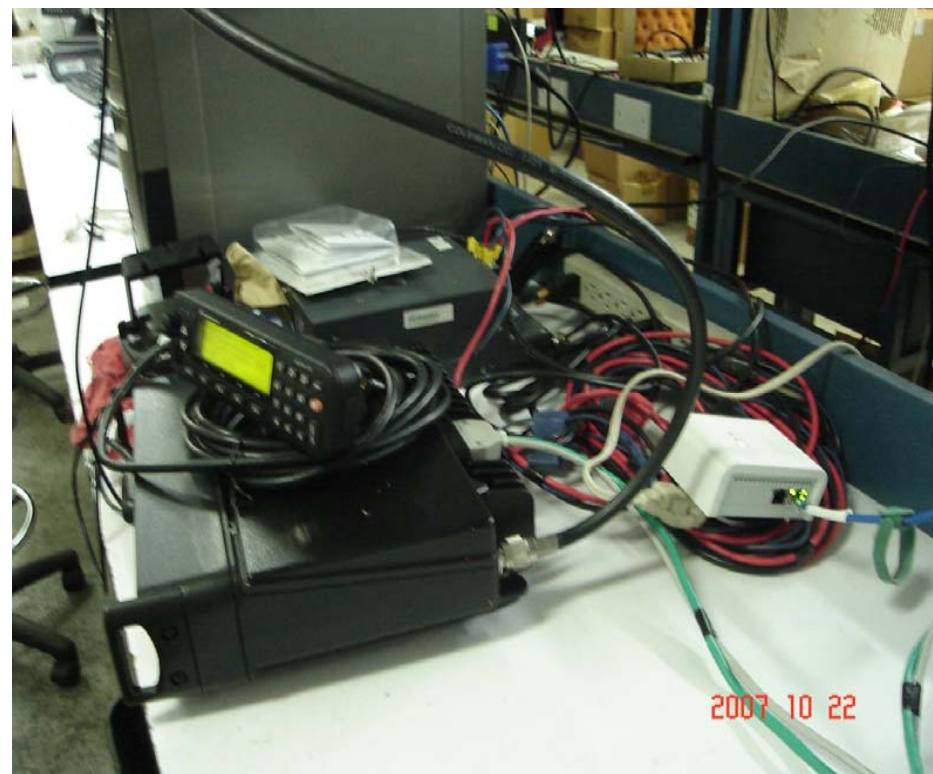


Fig. C-2 Transferencia de datos sobre la línea eléctrica

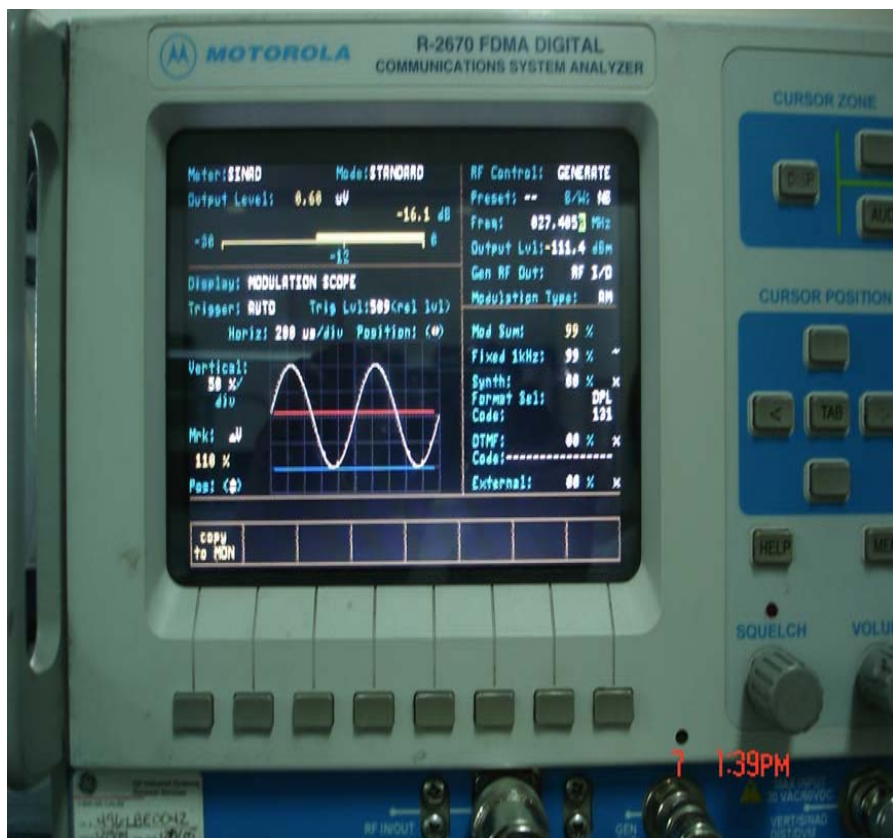


Fig. C-3 Medición de SINAD cuando ambos sistemas de comunicación están en operación



Fig. C-4 Panorama general de la medición de SINAD.

Apéndice **D**

Resultado de las mediciones de la afectación del sistema BPL sobre el sistema de radioreceptor MICOM.

En este apéndice se muestran las imágenes obtenidas en cada una de las mediciones realizadas en diferentes frecuencias. Las primeras imágenes de cada frecuencia corresponden a los resultados de las mediciones cuando el sistema BPL no estaba operando, esto se denominó como mediciones sin interferencias de BPL. Las demás imágenes corresponden al caso de mediciones cuando el sistema BPL estaba operando, denominado mediciones sin interferencias BPL.

Además, cada una de estas imágenes generó un archivo de datos numéricos que nos facilitó procesar en el programa de MATLAB, estos archivos no se presentan en este trabajo debido al volumen que contiene cada uno de ellos.

Prueba de medición a 5 MHz

En la figura D-1 se muestra el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 5 MHz de RF y 10 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no contiene señal de interferencia BPL, por tanto se toma como una referencia. Las figuras D-2, D-3, D-4, D-5 y D-6 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 5 MHz.

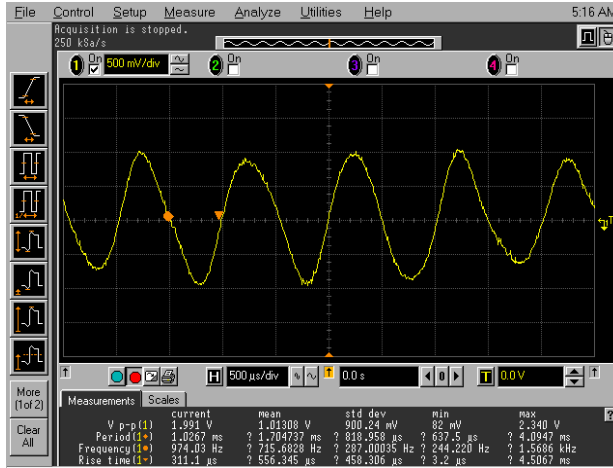


Fig. D-1 Señal sin interferencia BPL

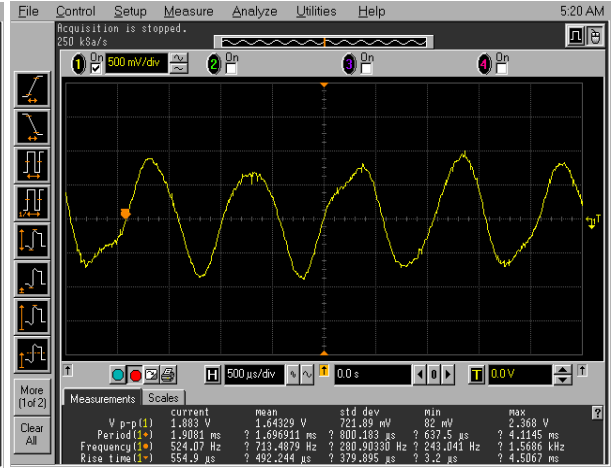


Fig. D-2 Señal afectada

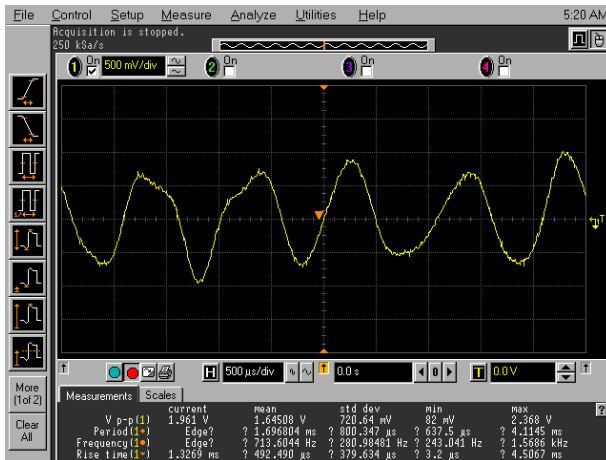


Fig. D-3 Señal afectada

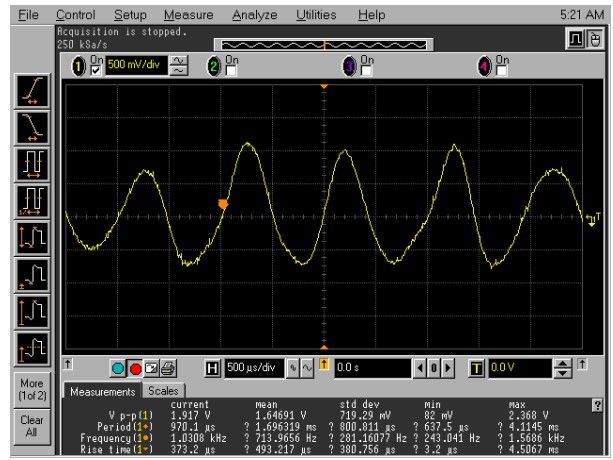


Fig. D-4 Señal afectada

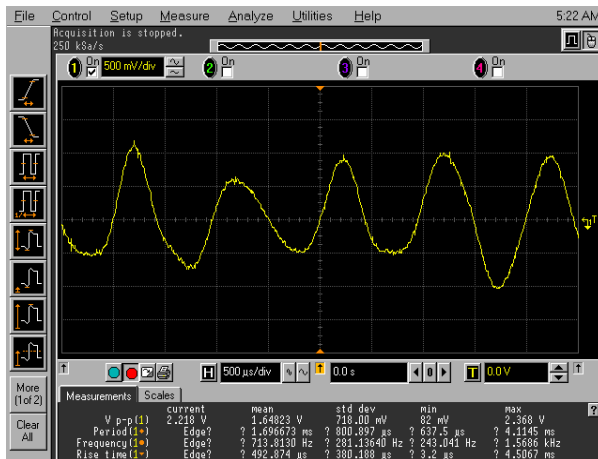


Fig. D-5 Señal afectada

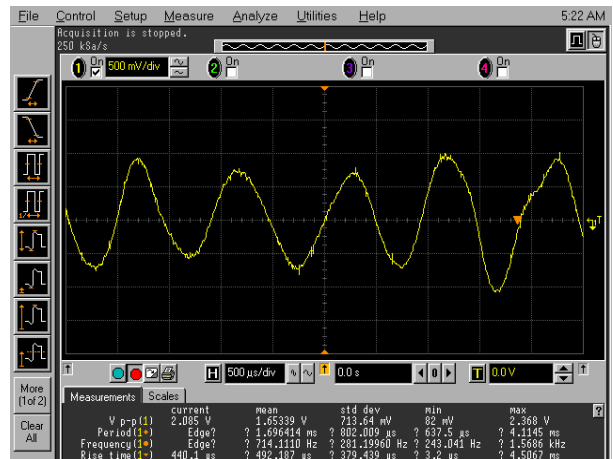


Fig. D-6 Señal afectada

Prueba de medición a 10 MHz

En la figura D-7 se muestra el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 10 MHz de RF y 10 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no contiene señal de interferencia BPL. Las figuras D-8, D-9, D-10, D-11, D-12, D-13, D-14, D-15, D-16, D-17 y D-18 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 10 MHz.

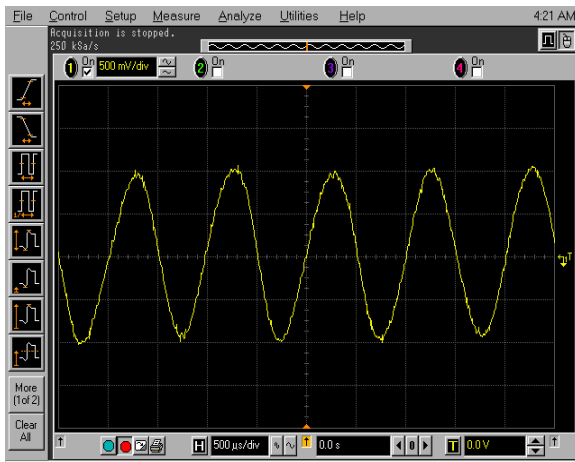


Fig. D-7 Señal sin interferencia BPL

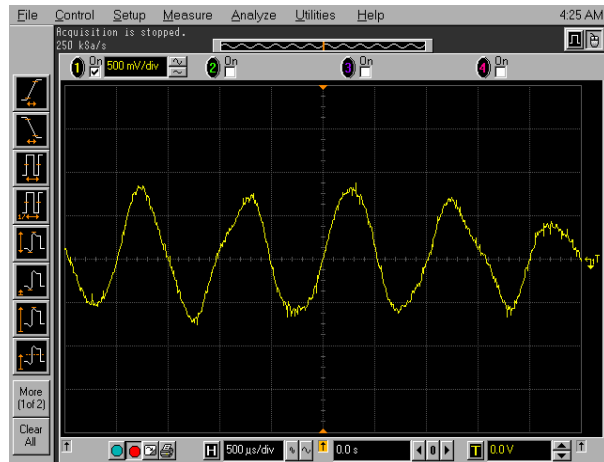


Fig. D-8 Señal afectada

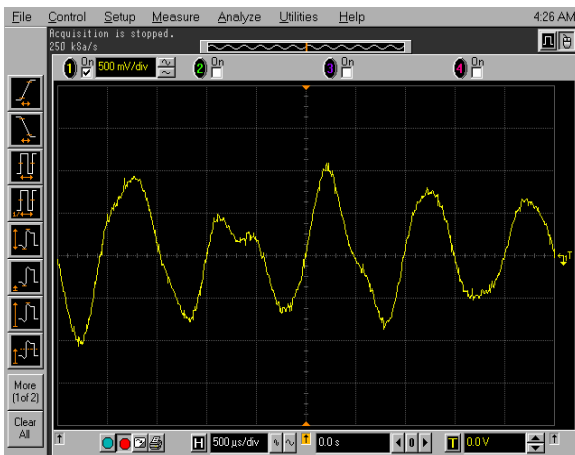


Fig. D-9 Señal afectada

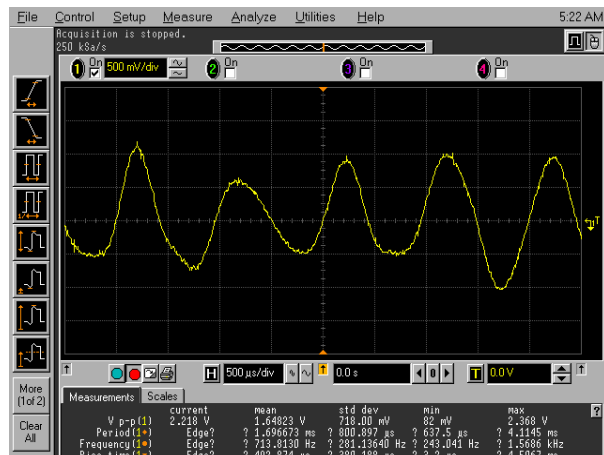


Fig. D-10 Señal afectada

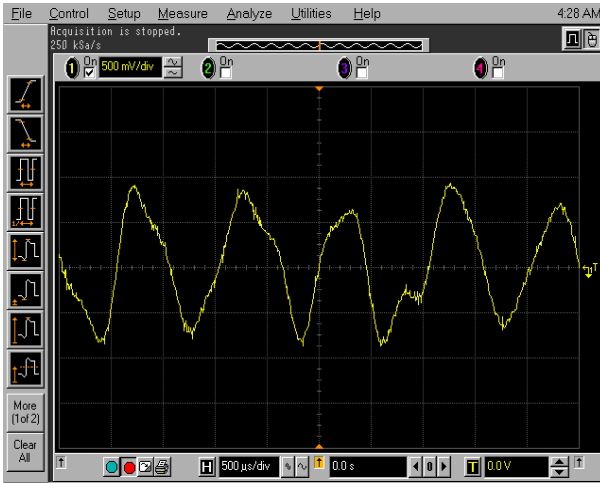


Fig. D-11 Señal afectada

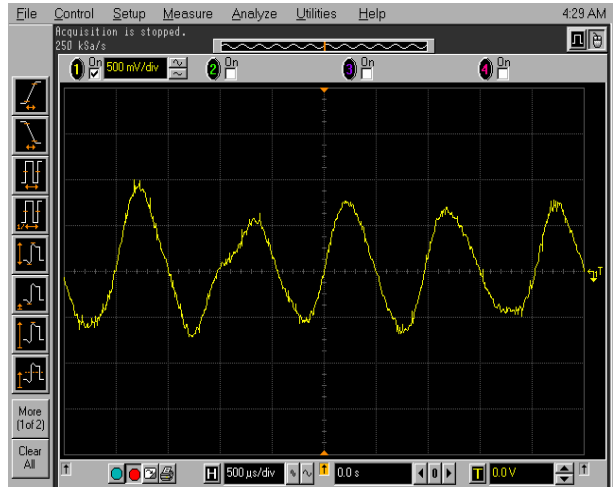


Fig. D-12 Señal afectada

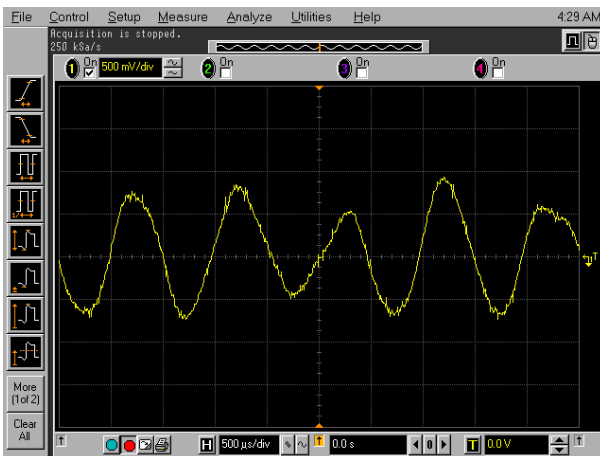


Fig. D-13 Señal afectada

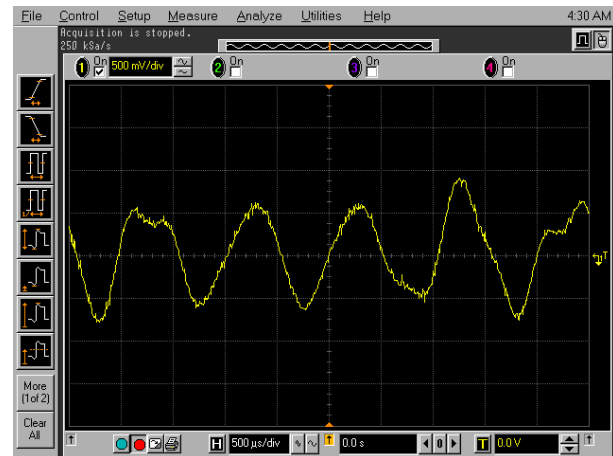


Fig. D-14 Señal afectada

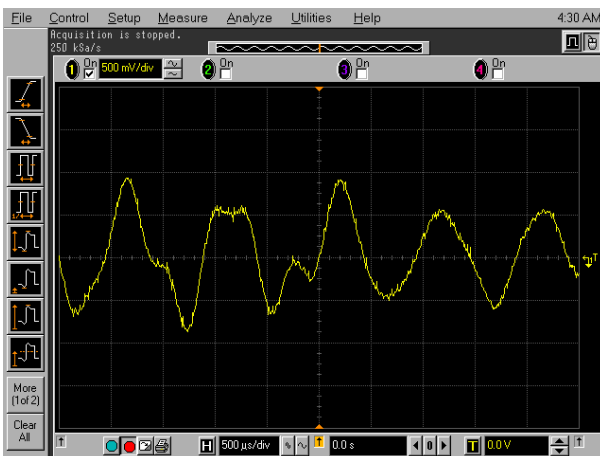


Fig. D-15 Señal afectada

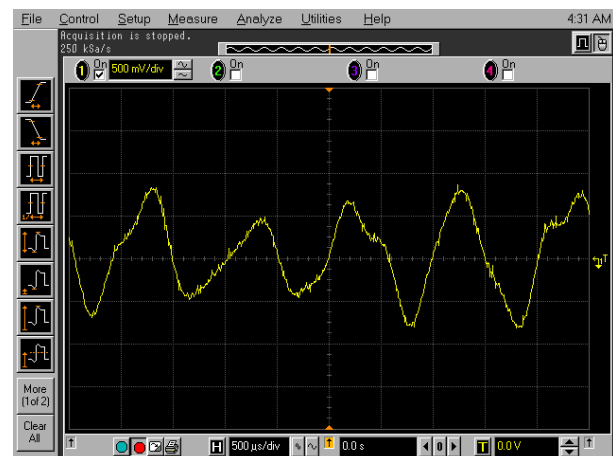


Fig. D-16 Señal afectada

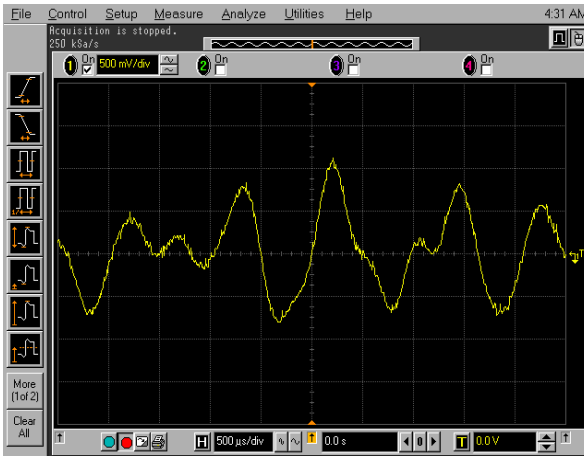


Fig. D-17 Señal afectada

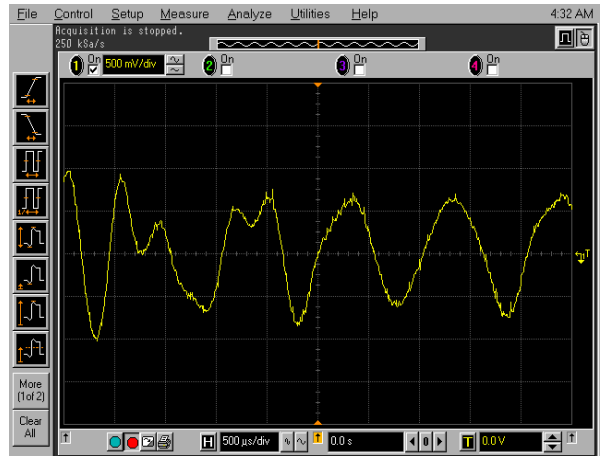


Fig. D-18 Señal afectada

Prueba de medición a 15 MHz

En la figura D-19 se muestra el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 10 MHz de RF y 10 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no presenta la interferencia BPL. Las figuras D-20, D-21, D-22, D-23, D-24, D-25, D-26, D-27, D-28, D-29 y D-30 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 15 MHz.

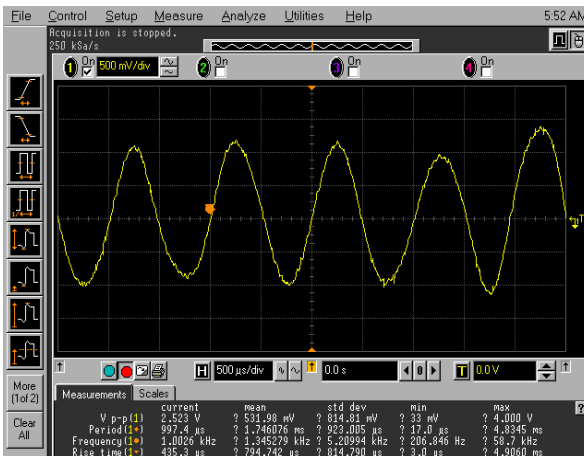


Fig. D-19 Señal sin interferencia BPL

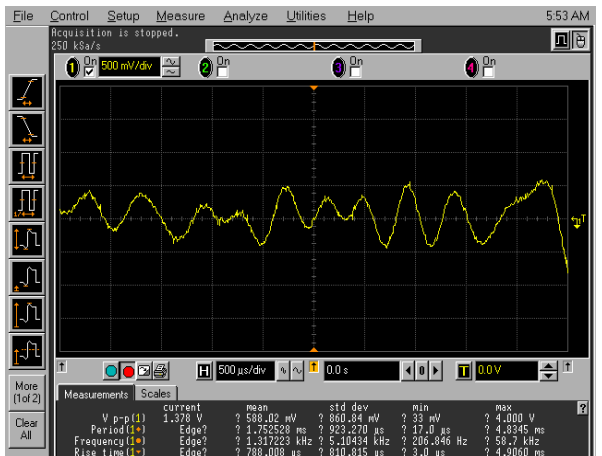


Fig. D-20 Señal afectada

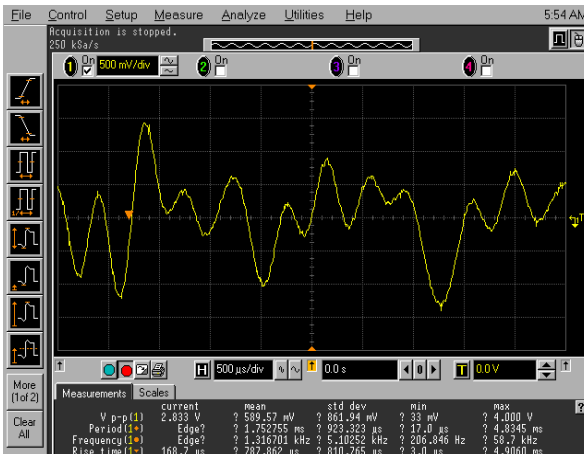


Fig. D-21 Señal afectada

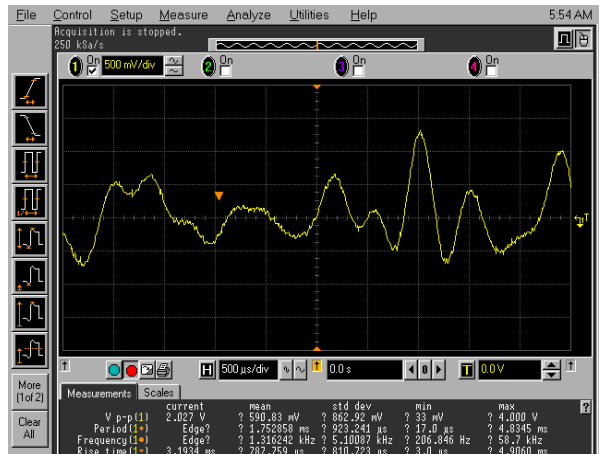


Fig. D-22 Señal afectada

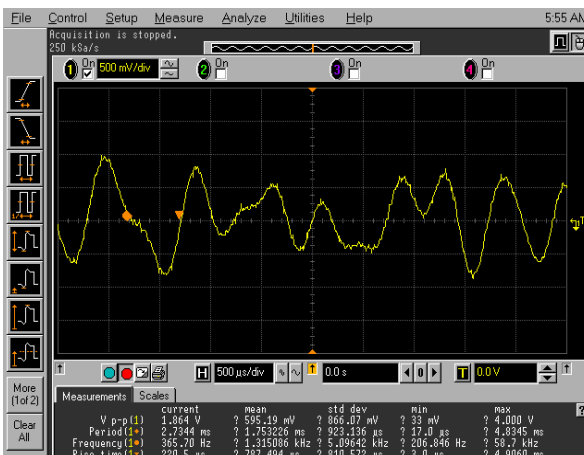


Fig. D-23 Señal afectada

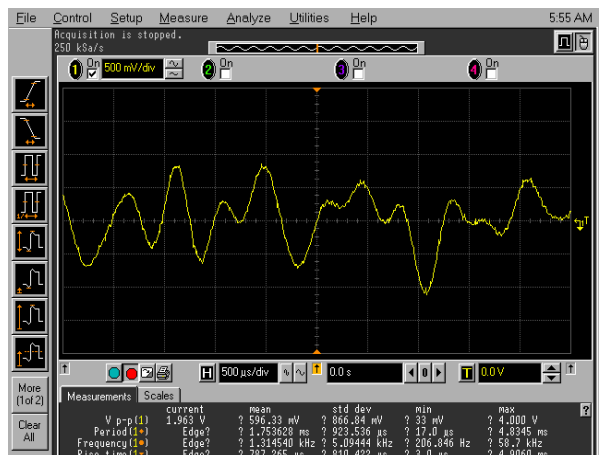


Fig. D-24 Señal afectada

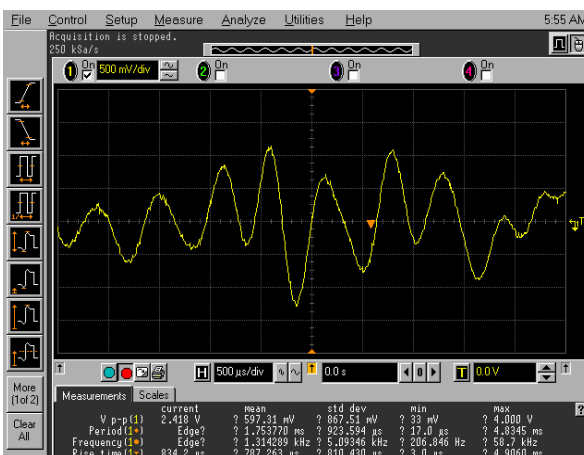


Fig. D-25 Señal afectada

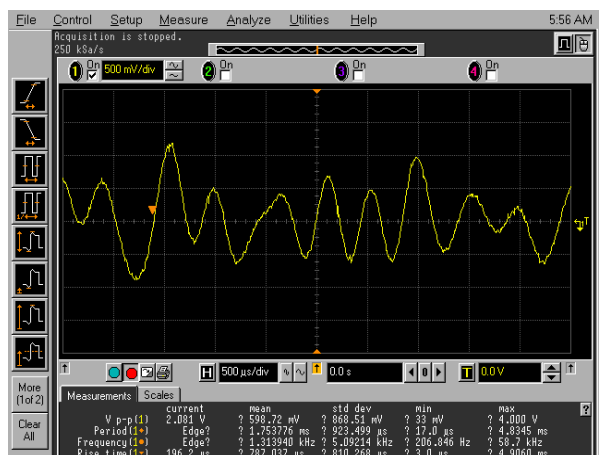


Fig. D-26 Señal afectada

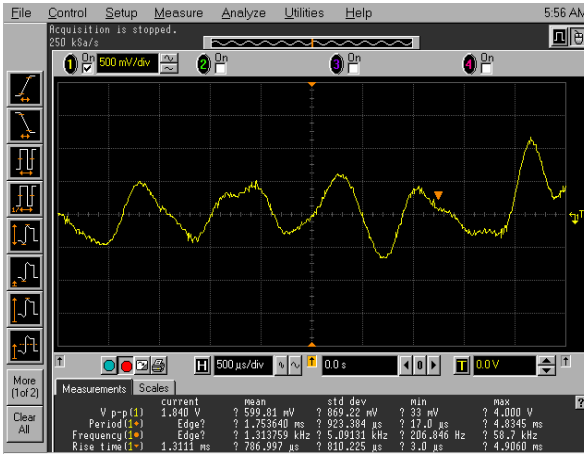


Fig. D-27 Señal afectada

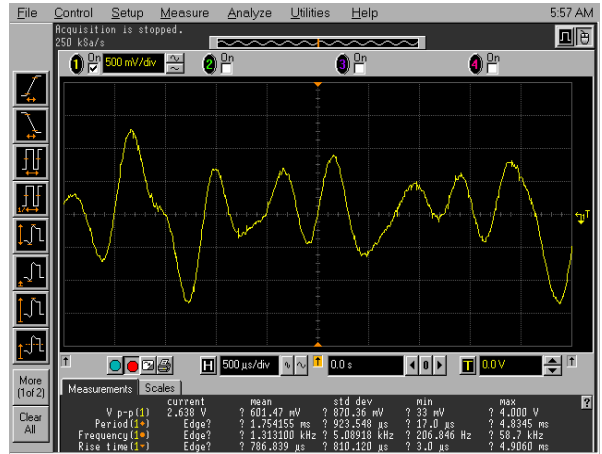


Fig. D-28 Señal afectada

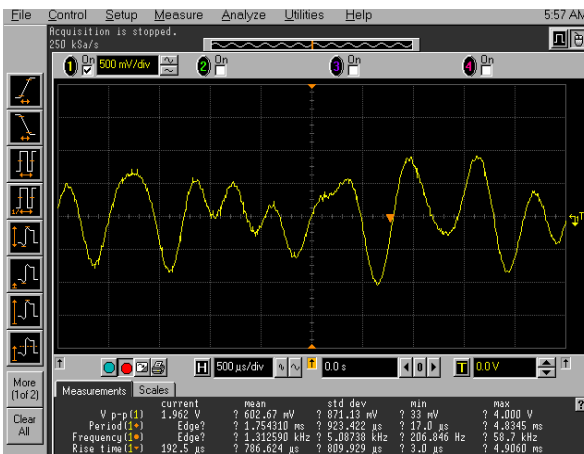


Fig. D-29 Señal afectada

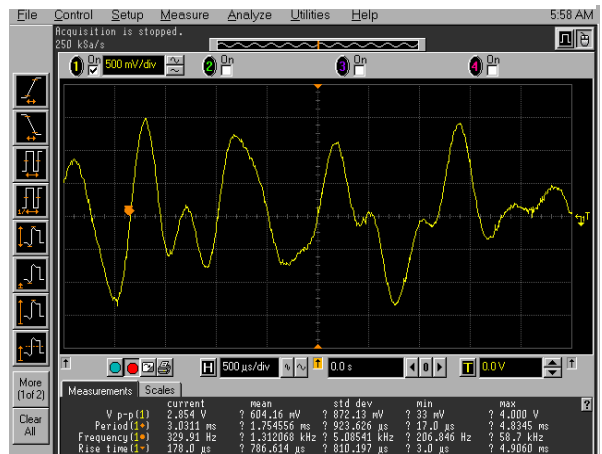


Fig. D-30 Señal afectada

Prueba de medición a 20 MHz

En la figura D-31 se muestra el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 10 MHz de RF y 10 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no contiene señal de interferencia BPL. Las figuras D-32, D-33, D-34, D-35, D-36, D-37, D-38, D-39, D-40, D-41 y D-42 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 20 MHz.

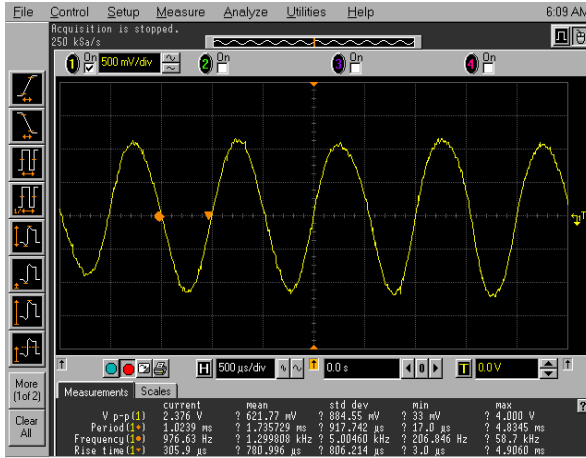


Fig. D-31 Señal sin interferencia BPL

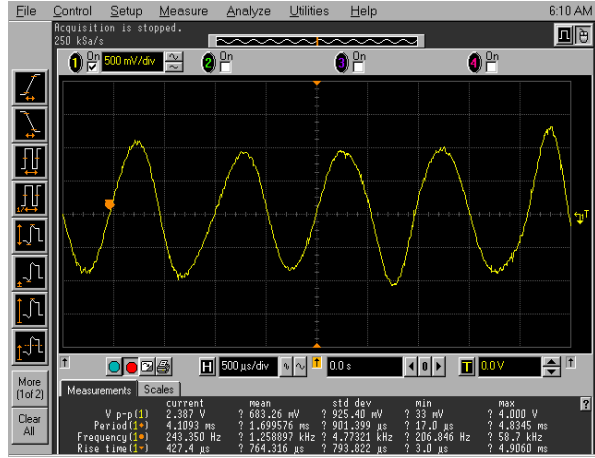


Fig. D-32 Señal afectada

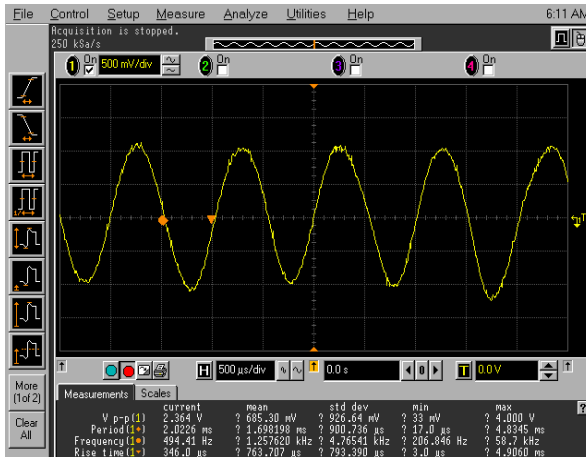


Fig. D-33 Señal afectada

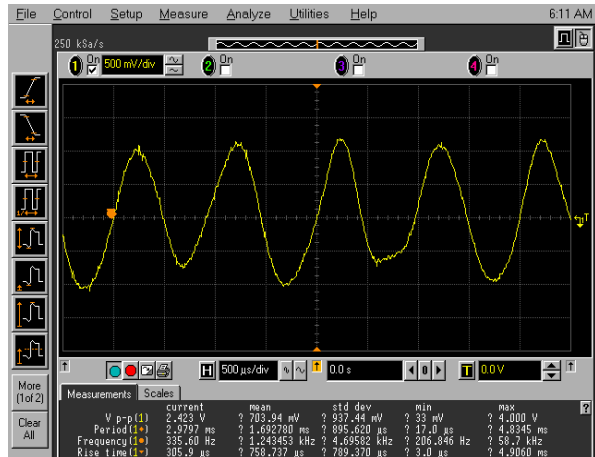


Fig. D-34 Señal afectada

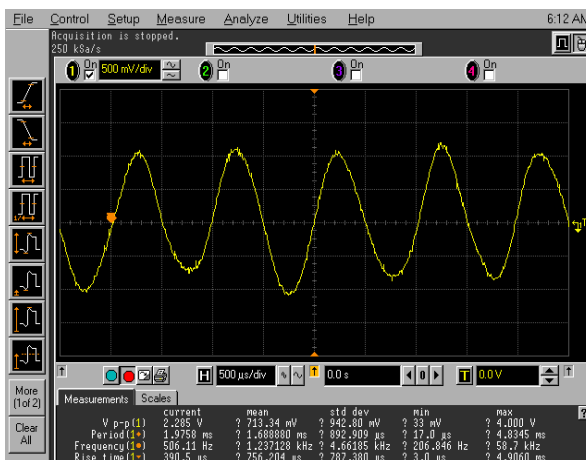


Fig. D-35 Señal afectada

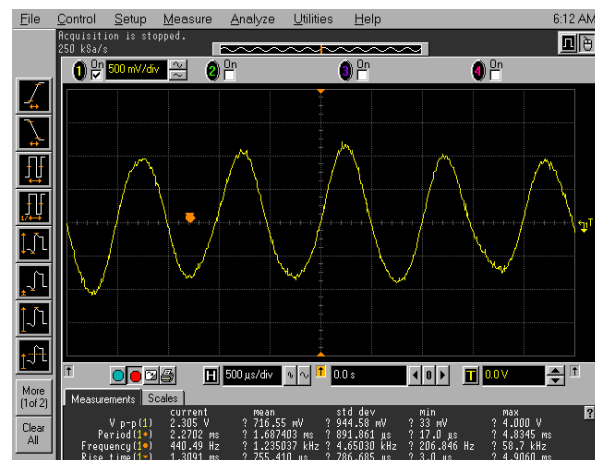


Fig. D-36 Señal afectada

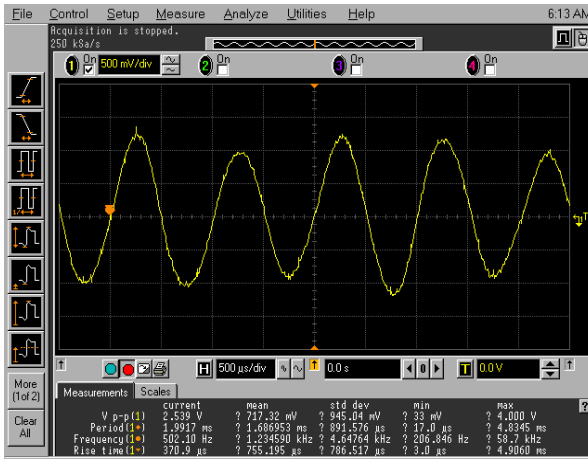


Fig. D-37 Señal afectada

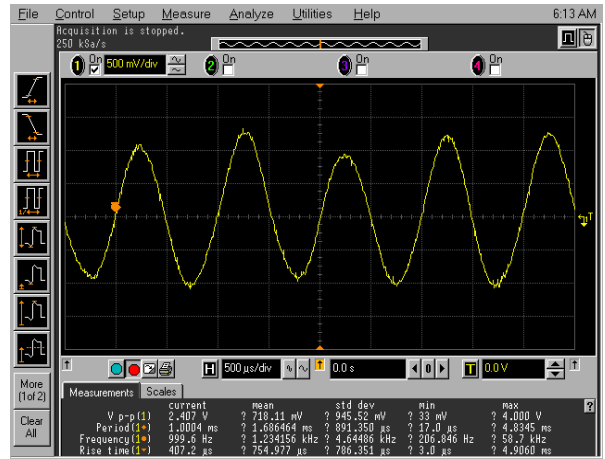


Fig. D-38 Señal afectada

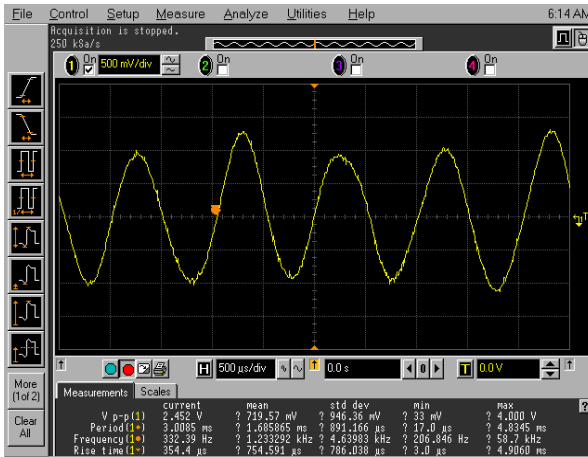


Fig. D-39 Señal afectada

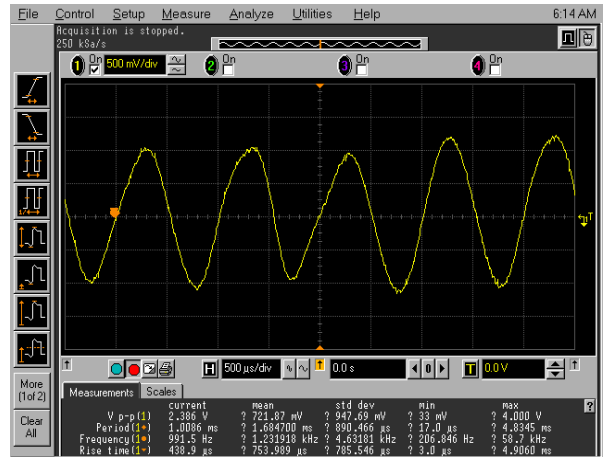


Fig. D-40 Señal afectada

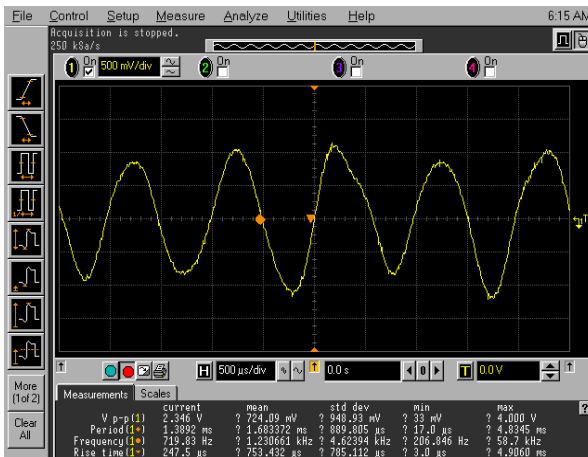


Fig. D-41 Señal afectada

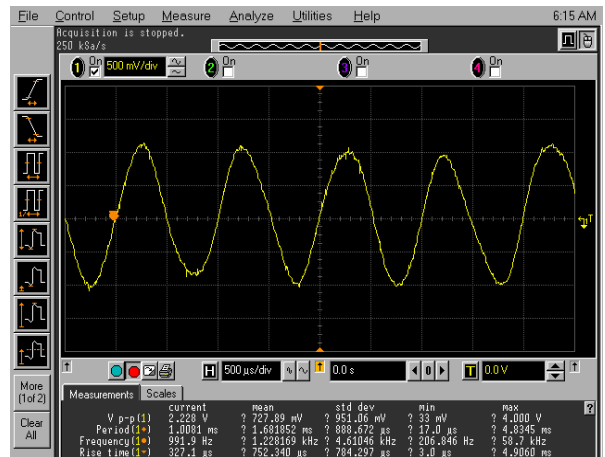


Fig. D-42 Señal afectada

Prueba de medición a 21.86 MHz

En la figura D-43 se exhibe el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 10 MHz de RF y 0 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no contiene señal de interferencia BPL. Las figuras D-44, D-45, D-46, D-47 y D-48 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 21.86 MHz.

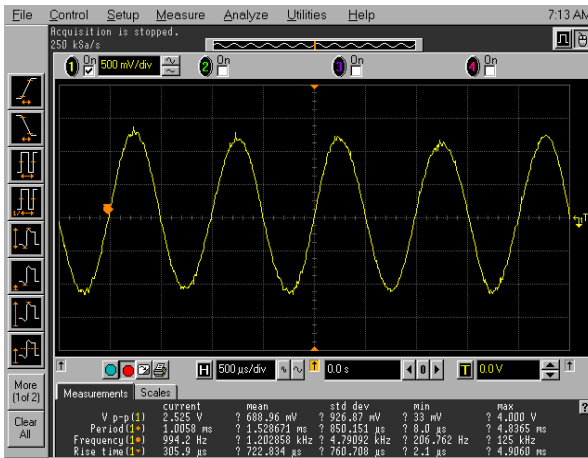


Fig. D-43 Señal sin interferencia BPL

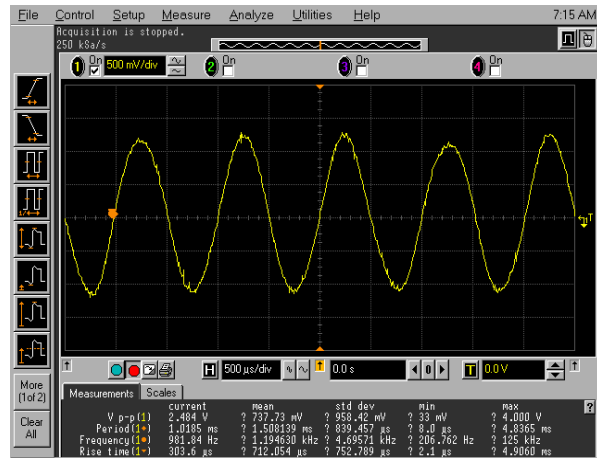


Fig. D-44 Señal afectada

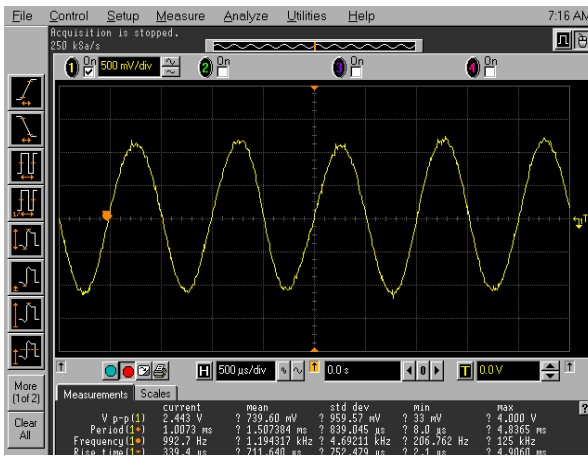


Fig. D-45 Señal afectada

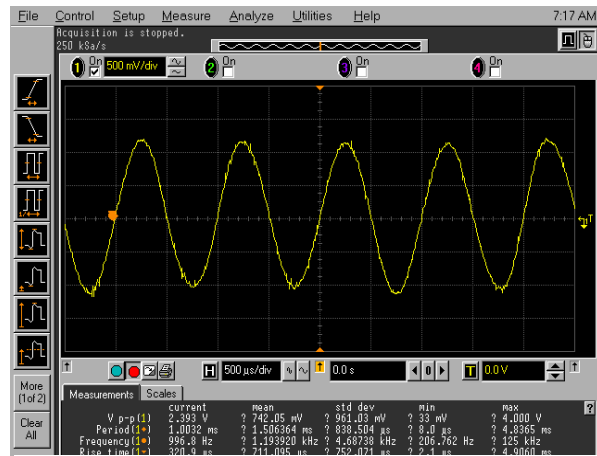


Fig. D-46 Señal afectada

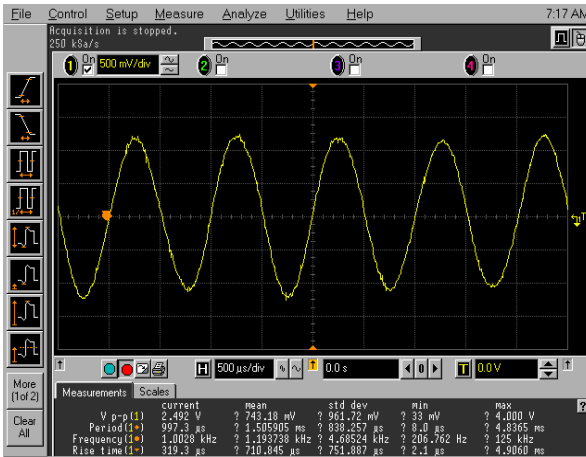


Fig. D-47 Señal afectada

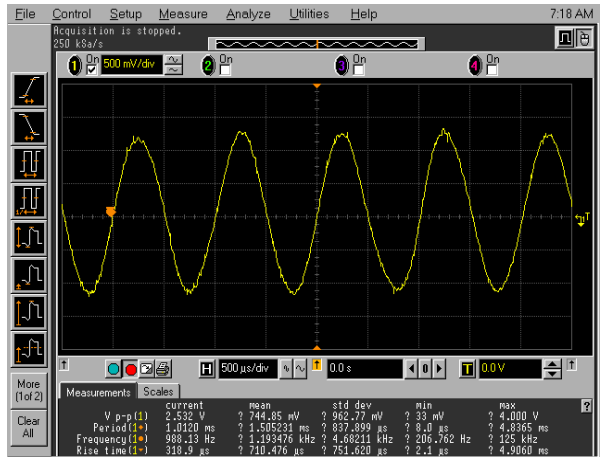


Fig. D-48 Señal afectada

Prueba de medición a 25.6 MHz

En la figura D-49 se muestra el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 10 MHz de RF y 10 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no contiene señal de interferencia BPL. Las figuras D-50, D-51, D-52, D-53 y D-54 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 25.6 MHz.

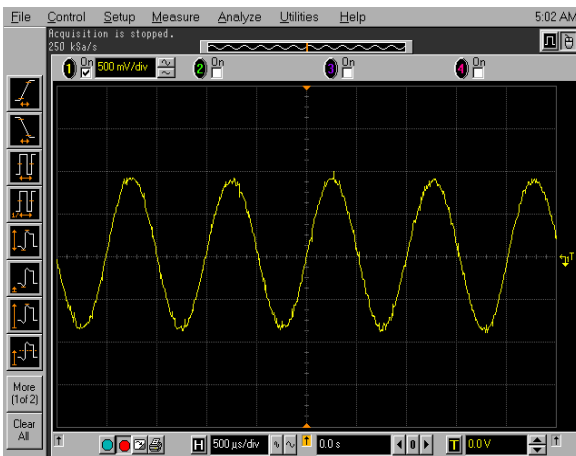


Fig. D-49 Señal sin interferencia BPL

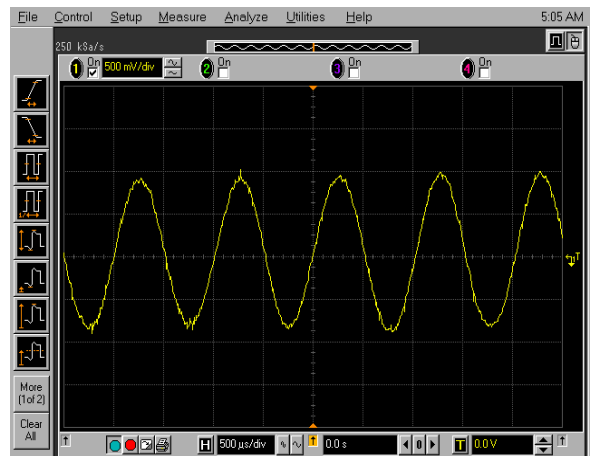


Fig. D-50 Señal afectada

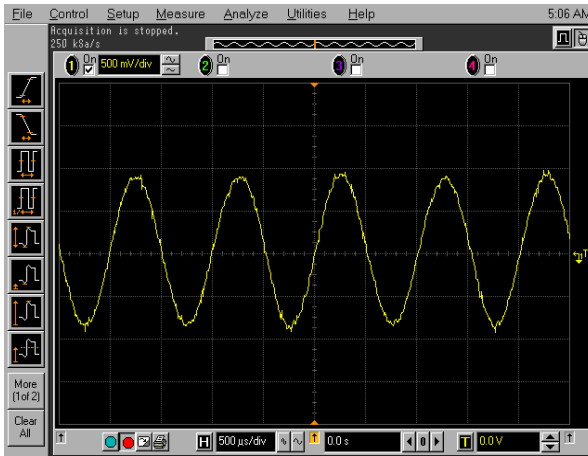


Fig. D-51 Señal afectada

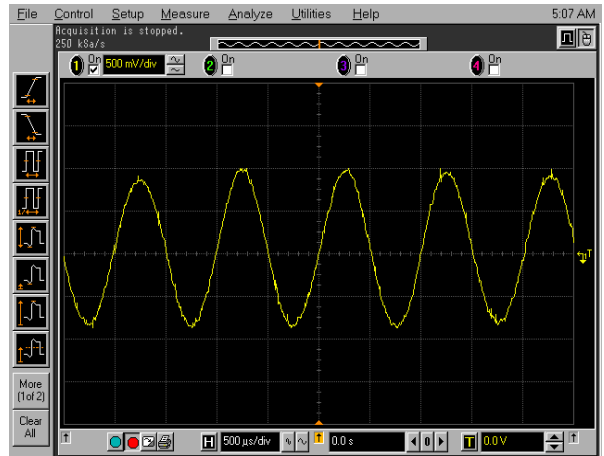


Fig. D-52 Señal afectada

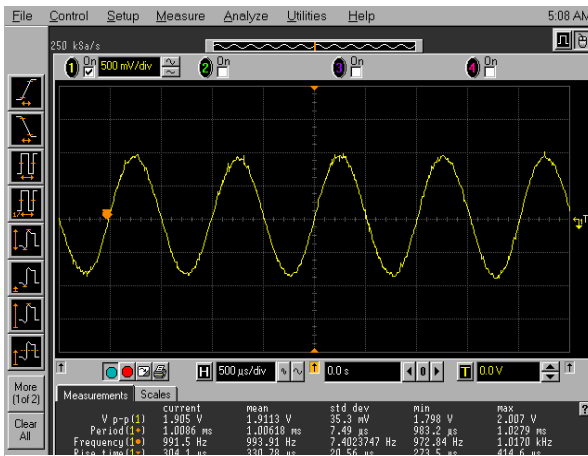


Fig. D-53 Señal afectada

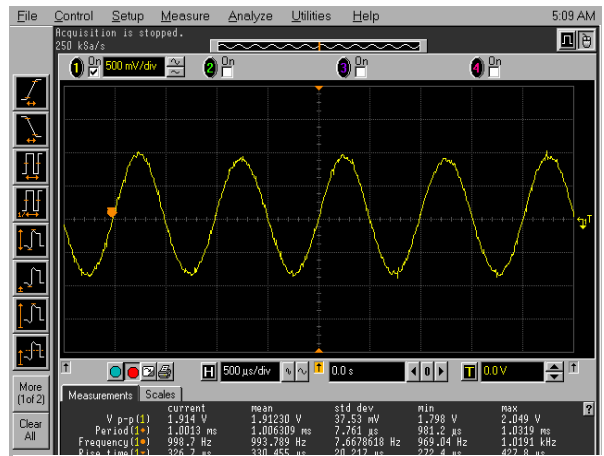


Fig. D-54 Señal afectada

Prueba de medición a 27.75 MHz

En la figura D-55 se muestra el resultado obtenido en el receptor al transmitir una señal banda base de 1 kHz, 10 MHz de RF y 0 dBm de nivel de potencia de salida. Esta señal no contiene señal de interferencia BPL. Las figuras D-56, D-57, D-58, D-59 y D-60 son los resultados de las mediciones de las señales con interferencia BPL en 27.75 MHz.

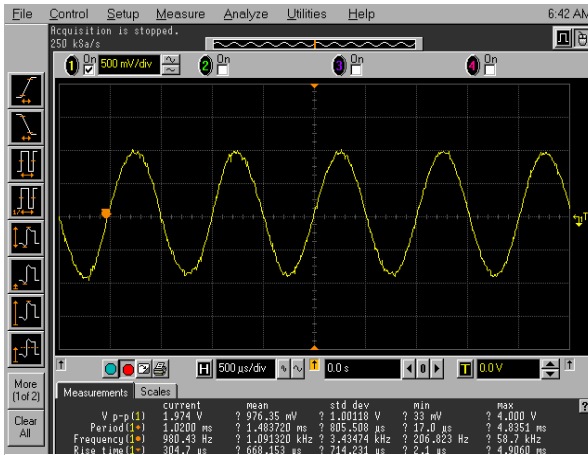


Fig. D-55 Señal sin interferencia BPL

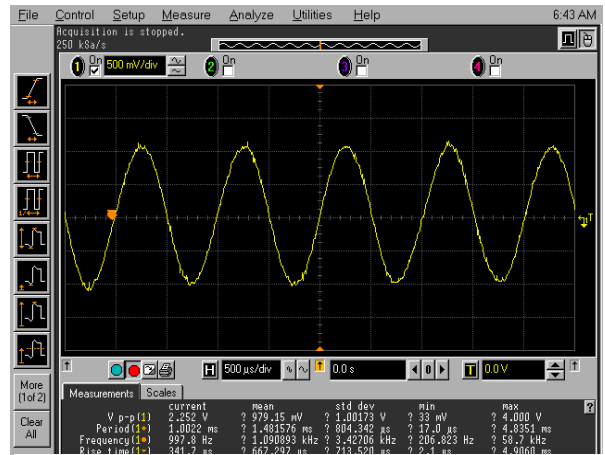


Fig. D-56 Señal afectada

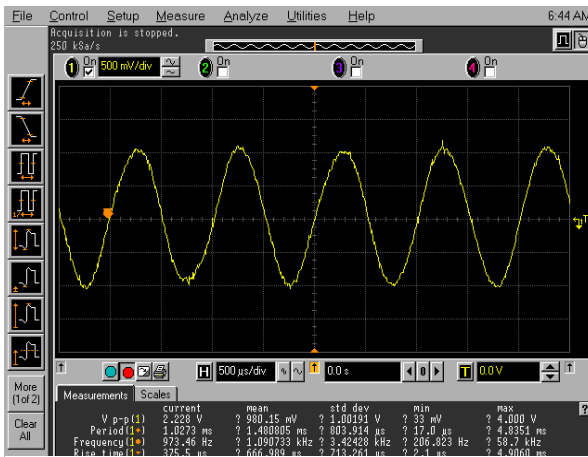


Fig. D-57 Señal afectada

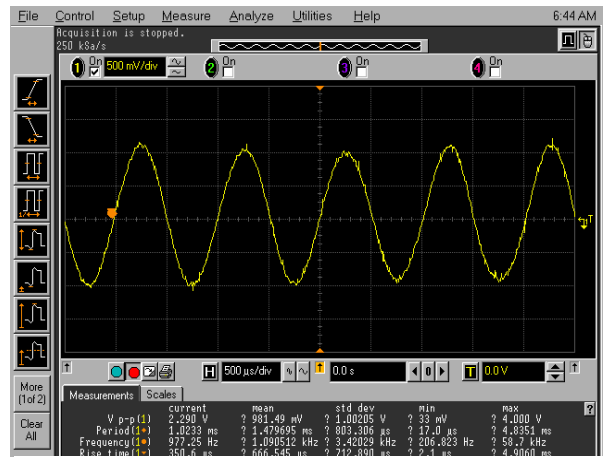


Fig. D-58 Señal afectada

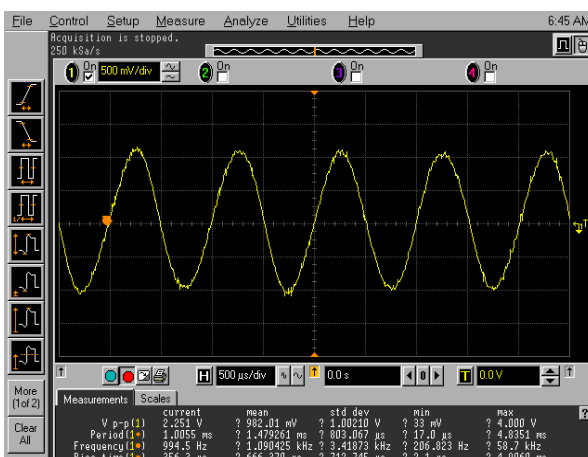


Fig. D-59 Señal afectada

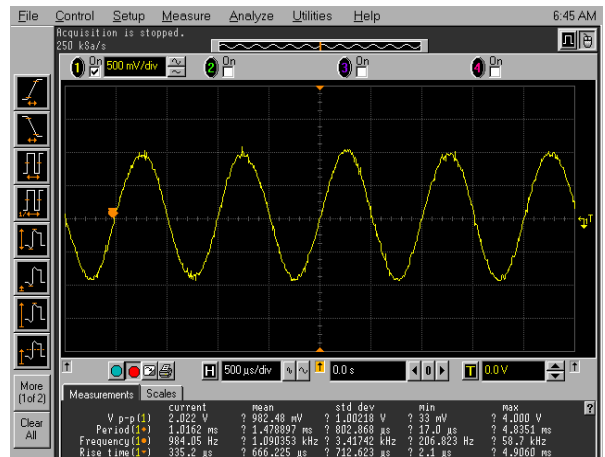


Fig. D-60 Señal afectada

Apéndice **E**

Código del programa para determinar la potencia contenida en el lóbulo principal

```

clear all,clf, clc
I=2;
color=['b','r','g','m','c','g','r','g','r','m','c','r','g'];
Fs=250000; % Velocidad de muestreo en 250kSa/s
n=4096; % Valor de n, preferente con potencia de 2 % Valor de n, preferente
con potencia de 2
M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebasinplc20.xls', 'b24:b1278');
X1=fft(M,n); % Cálculo de la Transformada Rápida de Fourier de la señal original
"CON o SIN"
mag1=abs(X1); % Magnitud de X
f=(0:n/2)*Fs/n; % Configuración del eje de la frecuencia "este valor no cambiará en
todo el proceso"

RANGE=(1:1:50); %Intevalo de interpolación del resultado de FFT
X=f(RANGE); %Intervalo de interpolación en coordenada X "este valor no cambiará
en todo el proceso"
Y=mag1(RANGE); %Intervalo de interpolación en coordenada Y
xi =X(1):.3:X(length(X)); %Número de puntos a interpolar "este valor no cambiará en
todo el proceso"
yi = interp1(X,Y,xi,'spline'); %Realiza la interpolación

p=3331; %Punto de inicio [LÓBULO CENTRAL] del cálculo del área bajo la curva
n1=p-1; %Se hace una resta xke el ciclo for empieza en 0
AreaT=0;% Inicializa área Total
for i=0:1:n1-1
    Xin_Der=yi(p+i);
    Xfi_Der=yi(p+i+1);
    Area_Der=0.3*trapz([Xin_Der Xfi_Der]);

    Xin_Izq=yi(p-i);
    Xfi_Izq=yi(p-i-1);
    Area_Izq=0.3*trapz([Xin_Izq Xfi_Izq]);

```

```

AreaT=AreaT+Area_Der + Area_Izq; %Acumula la suma del área total
AreaP(i+1)=AreaT; %Guarda las áreas parciales
if (i<692)% # de puntos desde el lóbulo central hacia los lados
    AreaL=AreaT; %Calcula el área del lóbulo principal
end
end
Pob=1-(AreaP/AreaT);%DSP fuera de banda
Pob=10*log10(Pob);% %DSP fuera de banda en dB
i=0:1/(n1-1):1;
plot (i,Pob,color(1)),grid on, axis([0 1 -20 0]), xlabel('B'),ylabel('Pob(dB)'),title(' ');
porcent(1)=(AreaL/AreaT)*100; %Porcentaje del área del lóbulo principal vs área total
K=12;
while(I<=K);
if (I==2)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20a.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==3)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20b.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==4)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20c.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==5)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20d.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==6)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20e.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==7)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20f.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==8)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20g.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==9)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20h.xls', 'b24:b1278');
end
end

```

```

if (I==10)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20i.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==11)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20j.xls', 'b24:b1278');
end
if (I==12)
    M = xlsread('H:\pruebas bpl\Pruebas de medición en la escuelaIPN\prueba en la
Instalacion Eléctrica\10MHz10dBm\pruebaconplc20k.xls', 'b24:b1278');
end
X1=fft(M,n);    % Cálculo de la Transformada Rápida de Fourier de la señal original
"CON o SIN"
mag1=abs(X1);    % Magnitud de X
Y=mag1(RANGE); % Intervalo de interpolación en coordenada Y
yi = interp1(X,Y,xi,'spline'); % Realiza la interpolación

AreaT=0;%% % Área del Total
for i=0:1:n1-1
    Xin_Der=yi(p+i);
    Xfi_Der=yi(p+i+1);
    Area_Der=0.3*trapz([Xin_Der Xfi_Der]);

    Xin_Izq=yi(p-i);
    Xfi_Izq=yi(p-i-1);
    Area_Izq=0.3*trapz([Xin_Izq Xfi_Izq]);

    AreaT=AreaT+Area_Der + Area_Izq; % Acumulación la suma del área total
    AreaP(i+1)=AreaT;    % Guarda las áreas parciales
end
Pob=1-(AreaP/AreaT);    % DSP fuera de banda
Pob=10*log10(Pob);    % DSP fuera de banda en dB
i=0:1/(n1-1):1;
hold on,plot (i,Pob,color(I)),grid on, axis([0 1 -20 0]), xlabel('B'),ylabel('Pob(dB)'),title('
');
percent(I)=(AreaL/AreaT)*100; % Porcentaje del área del lóbulo principal vs área total
I=I+1;
end

```