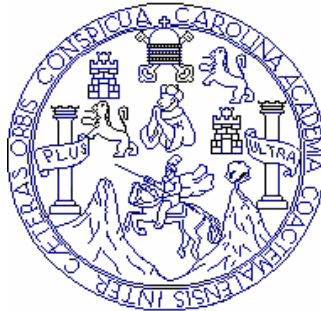


UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS
TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PERITAJE DE
DETERMINACIÓN DE RADIO INTERFERENCIA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RUBÉN ALBERTO ARRIAGA

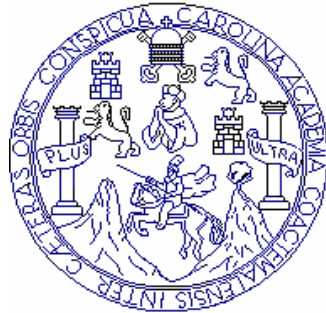
ASESORADO POR EL ING. EDGARDO LOUKOTA CASTAÑEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2006

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

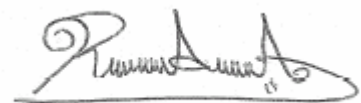
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Adolfo Villeda Vázquez
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godinez
EXAMINADOR	Ing. Manuel Fernando Barrera Pérez
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS
TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PERITAJE DE
DETERMINACIÓN DE RADIO INTERFERENCIA,**

tema que fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica- Eléctrica con fecha de 12 de agosto de 2005.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rubén Alberto Arriaga', with a stylized flourish at the end.

Rubén Alberto Arriaga

Telefónica

Móviles

Telefónica Móviles Guatemala, S. A.
Boulevard Los Próceres 20-09, Zona 10
Torre Telefónica
Guatemala C. A.
Tel.: (502) 2379-7979

Guatemala, enero de 2006

Ingeniero,
Ángel Roberto Sic García
Coordinador Unidad EPS
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Estimado Ingeniero Sic:

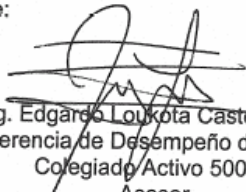
Por este medio le informo que como asesor del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) del estudiante de la carrera de ingeniería electrónica **RUBÉN ALBERTO ARRIAGA**, procedí a revisar el informe final de la práctica de EPS, titulado **ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DE RADIO INTERFERENCIA**, habiéndolo encontrado satisfactorio.

Cabe Mencionar que los puntos planteados en este trabajo contribuyen un valioso aporte a la Universidad de San Carlos de Guatemala, a la empresa Telefónica móviles Guatemala S.A. y en general a la república de Guatemala.

En tal virtud, lo doy por aprobado, solicitando dar el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente:


Ing. Edgardo Loukota Castellanos
Gerencia de Desempeño de Red
Colegiado Activo 5007
Asesor

Edgardo Loukota Castellanos
Ingeniero Electrónico, Colegiado 5,007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 15 de febrero de 2006
Ref. FPS. D. 60.02.06

Ing. Angel Roberto Sic García
Coordinador Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Sic García.

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (F.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Electrónica, RUBÉN ALBERTO ARRIAGA, procedí a revisar el informe final de la práctica de FPS, cuyo título es titulado "ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PERITAJE DE DETERMINACIÓN DE RADIO INTERFERENCIA".

Cabe mencionar que las soluciones planteadas en este trabajo, constituyen un valioso aporte de nuestra Universidad.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Supervisor de FPS

Área de Ingeniería Mecánica - Eléctrica



cc. Archivo
KIER/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 15 de febrero de 2006
Ref. EPS. C. 60.02.06

Ing. Renato Escobedo
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Escobedo.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PERITAJE DE DETERMINACIÓN DE RADIO INTERFERENCIA".

Este trabajo lo desarrolló el estudiante universitario, RUBÉN ALBERTO ARRIAGA, quien fue asesorado por el Ing. Edgardo Loukota Castellanos y supervisado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la APROBACION DEL MISMO por parte de asesor y supervisor, ESTA COORDINACION TAMBIEN APRUEBA SU CONTENIDO; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Jil y Enseñad a Todos"

Ing. Ángel Roberto Sic García
Coordinador Unidad de EPS



cc. Archivo
ARSG/jm

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: **Rubén Alberto Arriaga** titulado: **Análisis y Documentación de los requerimientos técnicos para la realización del peritaje de determinación de radio interferencia**, procede a la autorización del mismo.

Ing. Mario Renato Escobedo Martínez

DIRECTOR

Guatemala, 08 de marzo de 2006



Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.069.06

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y DOCUMENTACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PERITAJE DE DETERMINACIÓN DE REDIO INTERFERENCIA**, presentado por el estudiante universitario **Rubén Alberto Arriaga**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpio Paiz Recinos
Decano



Guatemala, Marzo de 2006

/cc

DEDICATORIA

A mi madre linda: ANA ELIZABETH ARRIAGA CABARRUS, para que Dios y la Virgen Maria la tengan en su gloria, disfrutando de la vida eterna. Mami, gracias por tus sabias enseñanzas, tus dulces cuidados y tu eterno apoyo, forjaste en mi el hombre de bien que soy y tu esencia sigue viviendo en mis pensamientos y en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS A

Ing. Edgardo Loukota: Por su tiempo, guía y asesoramiento profesional

Ing. Juan Pablo Velásquez. Por su contribución al desarrollo de este trabajo.

Claudia Ivonne Jordán Ruiz. Por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional.

Universidad de San Carlos de Guatemala. Por ser la fuente de conocimiento

Todas las persona que contribuyeron con mi desarrollo profesional: Gracias por brindarme su apoyo y amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. SISTEMAS DE TELEFONÍA MOVIL	
1.1.Telefonía Móvil1.....	1
1.2. Sistema CDMA - Code division multiple access -	3
1.2.1. Tecnología CDMA	3
1.2.2. Detección de señales CDMA.....	5
1.2.3. Ventajas de redes CDMA	6
1.3. Sistemas GSM.....	8
1.3.1. Descripción de red.....	8
1.3.2. Ventajas de redes GSM.....	10
1.3.3. Desventajas y correcciones en redes GSM.....	12
1.3.4. Modulo de identificación de abonado (SIM).....	13
2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES FUNDAMENTALES	
2.1. Frecuencia	15
2.1.1. Movimiento ondulatorio	16
2.2. Ancho de banda.....	17

2.3.	Ondas electromagnéticas	19
2.3.1.	Tipos de onda	19
2.3.2.	Radiación electromagnética	21
2.4.	Espectro electromagnético	22
2.4.1.	Densidad de onda espectral de fuerza.....	25
2.5.	Antenas	25
2.6.	Ruido	28
2.6.1.	Ruido Blanco.....	29
2.6.2.	Ruido térmico	30
2.6.3.	Ruido eléctrico	31
2.7.	Interferencia.....	32
3.	GESTIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	
3.1.	Regulación del espectro radioeléctrico	35
3.1.1.	Funciones regulatorias	37
3.2.	Entidades y leyes regulatorias en Guatemala	37
3.2.1.	Atribuciones del estado	37
3.2.2.	Ley general de telecomunicaciones	38
3.2.3.	Condiciones para operación de telecomunicaciones en territorio Guatemalteco.....	39
3.2.3.1.	Requerimiento de operación	39
3.2.3.2.	Procedimiento para resolución de conflictos.....	40
3.3.	Regulación del espectro radio eléctrico en Guatemala.....	42
3.3.1.	Espectro radio eléctrico en Guatemala	42
3.3.2.	Protección contra radio interferencia en Guatemala	43
3.3.3.	Bandas de frecuencia reguladas.....	44
3.3.3.1.	Títulos de Usufructo	44
3.3.3.2.	Bandas de frecuencia reservadas.....	45
3.3.3.3.	Solución de conflictos entre particulares.....	46

3.4.	Regulación del espectro radio eléctrico normado por la UIT.....	48
3.4.1.	Comprobación técnica del espectro	48
3.4.2.	Tareas de medición y equipo indispensable.....	49
3.4.3.	Procedimiento para tratamiento de interferencia	51
3.4.3.1.	Definición de interferencia	51
3.4.3.2.	Detección de interferencia perjudicial.....	52
3.4.3.3.	Determinación de interferencia.....	54
3.4.3.4.	Determinación en los casos de interferencia.....	56
4.	EQUIPO Y ESTACIONES DE COMPROBACIÓN TÉCNICA	
4.1.	Estaciones de comprobación técnica.....	59
4.1.1.	Estaciones de comprobación técnica fijas	59
4.1.2.	Estaciones de comprobación técnica móviles	61
4.1.2.1.	Sistemas de navegación y posicionamiento.....	62
4.1.2.2.	Antenas para estaciones móviles.....	63
4.1.2.3.	Requisitos para el vehículo de comprobación técnica.....	64
4.1.2.4.	Alimentación.....	64
4.1.3.	Estaciones de comprobación técnica portátiles.....	67
4.2.	Antenas de comprobación técnica y de medición	68
4.2.1.	Consideraciones generales	68
4.2.2.	Funcionamiento entre aproximadamente 30MHz y 3GHz	69
4.2.3.	Antenas omnidireccionales para ondas miriamétricas, kilométricas y hectométricas	69
4.2.4.	Antenas para ondas métricas, decimétricas y centimétricas	70
4.2.4.1.	Antenas omnidireccionales.....	70
4.2.4.2.	Antenas direccionales	73
4.2.5.	Antenas de estaciones móviles	77
4.2.6.	Líneas de transmisión	80

4.3.	Receptores de comprobación técnica.....	80
4.3.1.	Receptores analógicos.....	82
4.3.2.	Receptores digitales.....	84
4.4.	Equipos de medición	85
4.4.1.	Equipo de medición de frecuencia	86
4.4.2.	Equipo de medición de intensidad de campo.....	87
4.4.3.	Equipo de análisis del espectro y de medición de la Anchura de banda.....	90
4.4.4.	Equipo para la comprobación técnica automática de la ocupación del espectro	90
4.4.5.	Equipo de medición de la modulación.....	95
4.5.	Mantenimiento, calibración y reparaciones.....	96
4.5.1.	Pruebas funcionales básicas.....	98
4.5.2.	Pruebas funcionales intensificadas	98
4.5.3.	Mantenimiento.....	99
4.5.4.	Calibración	100
4.5.5.	Reparaciones	101
5.	MEDICIONES	
5.1.	Consideraciones practicas acerca de las mediciones	103
5.1.1.	Análisis de la transformada de Fourier (TRF)	103
5.1.2.	Incertidumbre de la medición	105
5.2.	Medición de frecuencia.....	108
5.2.1.	Consideraciones generales.....	108
5.2.2.	Métodos de medición de frecuencia convencionales	113
5.2.2.1.	Método del contador de frecuencia.....	113
5.2.2.2.	Método del analizador de barrida del espectro	114
5.2.3.	Métodos de medición de frecuencia basados en DSP	115
5.2.3.1.	Método de medición de la frecuencia instantánea	115

5.2.3.2. Método TRF	117
5.2.4. Patrones de referencia de frecuencia	117
5.2.4.1. Patrón de referencia de cuarzo y rubidio.....	117
5.2.4.2. Sistema mundial de posicionamiento GPS.....	118
5.3. Medición de intensidad de campo densidad de flujo de potencia	119
5.3.1. Consideraciones generales	119
5.3.2. Métodos de medición	120
5.3.2.1. Medición en un punto de medida fijo	121
5.3.2.1.1. Mediciones con un medidor de intensidad de campo portátil	121
5.3.2.1.2. Mediciones Instantáneas	122
5.3.2.1.3. Mediciones de la distribución espacial de la intensidad de campo.....	122
5.3.2.2. Mediciones a lo largo de la ruta.....	123
5.3.2.2.1. Velocidad del vehiculo	124
5.3.2.2.2. número de puntos de medición necesarios e intervalo de promediación.....	125
5.3.2.2.3. Altura de las antenas de medición	125
5.4. Medición de la ocupación del espectro	126
5.4.1. Técnicas de medición	126
5.4.2. Principios de muestreo	127
5.4.3. Señales no deseadas	128
5.5. Medición de la anchura de banda	129
5.5.1. Definiciones de anchura de banda	129
5.5.2. Métodos de medición de la anchura de banda	131
5.5.2.1. Método que utiliza un analizador de espectro	131
5.5.2.2. Método basado en la TRF	132
5.5.2.3. Método con un solo filtro paso banda.....	134
5.6. Medición de la modulación.....	137

5.6.1.	Generalidades	137
5.6.2.	Métodos de mediciones para modulación	137
5.6.2.1.	Medidor de modulación o de un medidor de modulación	137
5.6.2.2.	Medición a distancia de la profundidad de modulación..	140
5.6.2.3.	Medición de la máscara espectral para la radiodifusión.	142
5.7.	Radiogoniometría y localización	142
5.7.1.	Consideraciones generales	142
5.7.2.	Técnicas y sistemas de radiogoniometría	149
5.7.2.1.	Sistemas de radiorecalada móvil	152
5.7.3.	Calculo de la posición	153
5.7.3.1.	Eliminación de marcaciones no convergentes	154
5.7.3.2.	Evaluación del punto de localización	155
5.7.3.3.	Método de localización de un solo emplazamiento	156
5.8.	Análisis de la señal	158
5.8.1.	Técnicas de correlación	158
5.8.2.	Técnicas de filtrado adaptativo para separación de fuentes de señales AMDT y AMDC	160
CONCLUSIONES.....		161
RECOMENDACIONES.....		163
BIBLIOGRAFÍA.....		165

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Oscilación.....	16
2.	Ondas Electromagnéticas	19
3.	Onda longitudinal.....	20
4.	Onda Transversal	20
5.	Distribución del espectro electromagnético	23
6.	Densidad espectral de potencia y autocorrelación del ruido blanco	30
7.	Interferencia de ondas.....	33
8.	Diagrama de bloques de una estación de comprobación técnica fija	60
9.	Elementos de antena de ondas métricas y decimétricas.....	71
10.	Antenas fijas de ondas métricas y decimétricas.....	72
11.	Sistema de antena de comprobación técnica de alta calidad	75
12.	Sistema de antena activa	76
13.	Dipolo de banda ancha para ondas métricas y decimétricas	77
14.	Antena de microondas transportable.....	79
15.	Antena direccional portátil	79
16.	Diagrama de bloques de un receptor analógico	82
17.	Elementos básicos de un receptor digital	84
18.	Transformación de muestras digitalizadas del dominio del tiempo en Muestras en el dominio de la frecuencia.....	104
19.	Espectro de una señal dvb-t.....	114
20.	Señal de intensidad variable típica.....	127

21.	Definición de anchura de banda ocupada.....	131
22.	Distribución espectral en presencia de interferencia.....	135
23.	Distribución espectral con ruido aleatorio	136
24.	Diagrama de bloques de un medidor MA con entrada con mezclador	138
25.	Señales de entrada y salida del demodulador de MA.....	139
26.	Consola de visualización de un radiogoniómetro.....	144
27.	Antena de radiogoniómetro de abertura estrecha/ancho	147
28.	Esquema del calculo de la posición	153
29.	Examen de posible asociación con la marcación tomada por varios Radiogoniómetros	154
30.	Principio del sistema de localización de una sola estación	157
31.	Dispositivo de correlación cruzada para análisis de interferencia	159

TABLAS

I.	Distribución del espectro radio eléctrico.....	24
II.	Bandas de frecuencias reservadas administradas por la SIT	45
III.	Especificaciones recomendadas típicas para los receptores de comprobación técnica	81
IV.	Funciones y anchuras de banda del detector para los distintos tipos de señal	89
V.	Valores de entrada para frecuencias desde 30 MHz a 3GHz	107
VI.	Métodos de medición de frecuencia.....	111
VII.	Número de muestras necesario dependiendo de $E_{\text{máx}} - E_{\text{mín}}$	123
VIII.	Número de muestras dependientes e independientes	128
IX.	Interferómetro correlativo/radiogoniometría con superresolución	151

LISTA DE SÍMBOLOS

A/D	analógico/digital
ABR	amplificador de bajo nivel de ruido
AF	factor de antena - <i>Antenna Factor</i> -
AMDC	acceso múltiple por división de código
AMDF	acceso múltiple por división de frecuencia
AMDT	acceso múltiple por división en el tiempo
AMPS	sistema de telefonía móvil avanzado - <i>Advanced Mobile Phone System</i> -
APL	nivel medio de la imagen - <i>Average Picture Level</i> -
ATIS	sistema de identificación automática del transmisor - <i>Automatic Transmitter Identification System</i> -
ATM	modo de transferencia asíncrono - <i>Asynchronous Transfer Mode</i> -
BER	proporción de bits erróneos
BITE	equipo de pruebas integrado - <i>Build Integrated Test Equipment</i> -
BLI	banda lateral independiente
BLU	banda lateral única
BW	anchura de banda
C/I	relación portadora/interferencia
CA	corriente alterna
CAF	función de ambigüedad cruzada
CC	corriente continua
CI	circuito integrado
CIR	respuesta del canal a impulsos - <i>Channel Impulse Response</i> -
CPLPA	antena log-periódica con polarización circular - <i>Circularly Polarized Log-Periodic Antenna</i> -

CRT	tubo de rayos catódicos - <i>Cathode-Ray Tube</i> -
CTCSS	sistema de señalización controlado por tono continuo - <i>Continuous Tone Controlled Signalling System</i> -
CW	onda continua
D/A	digital/analógico
D/C	convertidor reductor
DAB	radiodifusión de audio digital
DAM	modulación dinámica de amplitud
DAS	sistema de análisis digital
DBL	doble banda lateral
DCM	modelo urbano digital - <i>Digital City Model</i> -
DCS	silenciador con codificación digital - <i>Digitally Coded Squelch</i> -
DDF	dúplex por división de frecuencia
DDS	síntesis digital directa - <i>Direct Digital Síntesis</i> -
DEP	densidad espectral de potencia
dfp	densidad de flujo de potencia
DGPS	GPS diferencial - <i>Differential GPS</i> -
DME	equipo de medida de distancia - <i>Distance Measuring Equipment</i> -
DMR	radiocomunicación digital por microondas - <i>Digital Microwave Radio</i> -
DPE	equipo de procesamiento de datos - <i>Data Processing Equipment</i> -
DSP	procesamiento digital de la señal - <i>Digital Signal Processing</i> -
DSSS	espectro ensanchado por secuencia directa - <i>Direct Sequence Spread Spectrum</i> -
DTMF	multifrecuencia bitono - <i>Dual Tone Multiple Frequency</i> -
EDM	medición electrónica de la distancia - <i>Electronic Distance Measurement</i> -
EMC	compatibilidad electromagnética - <i>Electromagnetic Compatibility</i> -

FC	contador de frecuencia [método] <i>-Frequency Counter-</i>
FD	discriminador de frecuencia [método] <i>-Frequency Discriminator-</i>
FDAC	función de distribución acumulativa complementaria <i>-Complementary Cumulative Distribution Function-</i>
FH	salto de frecuencia <i>-Frequency-Hopping-</i>
FHSS	espectro ensanchado con salto de frecuencia <i>-Frequency-hopping Spread Spectrum-</i>
FI	frecuencia intermedia
FMS	sistema de gestión de frecuencias <i>-Frequency Management System-</i>
FSPL	pérdida de trayecto en el espacio libre <i>-Free Space Path Loss-</i>
FTP	protocolo de transferencia de ficheros <i>-File Transfer Protocol-</i>
GLONASS	Sistema Mundial de Navegación por Satélite <i>-Global Navigation Satellite System-</i>
GPDOP	pérdida de precisión de la posición geométrica <i>-Geometric Position Dilution of Precision-</i>
GPS	Sistema Mundial de Posicionamiento <i>-Global Positioning System-</i>
GSM	Sistema Mundial de Comunicaciones Móviles <i>-Global System for Mobile communication-</i>
GTD	teoría geométrica de difracción <i>-Geometric Theory of Diffraction-</i>
HSDS	sistemas de datos de alta velocidad <i>-High Speed Data Systems-</i>
ICM	industriales, científicos y médicos
ID	identificación
IEEE	<i>-Institute of Electrical and Electronic Engineers-</i>
IFM	medición de la frecuencia instantánea <i>-Instantaneous Frequency Measurement-</i>
IP	Protocolo Internet

ISO	Organización Internacional de Normalización <i>-International Standardization Organization-</i>
ITRF	TRF inversa
LAN	redes de área local <i>-Local Area Networks-</i>
LCD	pantalla de cristal líquido <i>-Liquid Crystal Display-</i>
LGT	Ley general de telecomunicaciones
LMDS	servicios de distribución multipunto local <i>-Local Multipoint Distribution Services-</i>
LMSK	modulación por desplazamiento mínimo de nivel controlado <i>-Level-controlled Minimum Shift-Keying-</i>
LNB	bloque de bajo nivel de ruido <i>-Low Noise Block-</i>
LOB	línea de marcación <i>-Line of Bearing-</i>
LOS	línea de visibilidad directa <i>-Line-of-Sight-</i>
LPI	baja probabilidad de interceptación <i>-Low Probability of Intercept-</i>
LLSD	llamada selectiva digital
LUF	mínima frecuencia utilizable
MA	modulación de amplitud
MAQ	modulación de amplitud en cuadratura
MDA	modulación por desplazamiento de amplitud
MDAF	modulación por desplazamiento de audiofrecuencia
MDF	modulación por desplazamiento de frecuencia
MDFR	modulación por desplazamiento de frecuencia rápida
MDM	modulación por desplazamiento mínimo
MDP	modulación por desplazamiento de fase
MDP-2	modulación por desplazamiento de fase binaria
MDP-4	modulación por desplazamiento de fase en cuadratura
MF	modulación de frecuencia

MGDF	modulación gaussiana por desplazamiento de frecuencia
MIN	número de identificación móvil <i>-Mobile Identification Number-</i>
MP	modulación de fase
MPEG	Grupo de Expertos sobre Imágenes en Movimiento <i>-Moving Picture Expert Group-</i>
MPSK	modulación por desplazamiento de fase de orden M MDP-M
MRCF	velocidad máxima de cambio de la frecuencia <i>-Maximum Rate of Change of Frequency-</i>
MSAM	modelo de análisis del espectro por microcomputador <i>-Microcomputer Spectrum Analysis Model-</i>
MSC	centro de conmutación telefónica móvil <i>-Mobile Switching Centre-</i>
MTBF	tiempo medio entre fallos <i>-Mean Time between Failures-</i>
MUSIC	clasificación de señales múltiples <i>-Multiple Signal Classification-</i>
NBDP	impresión directa en banda estrecha <i>-Narrow Band Direct Printing-</i>
NSMS	Sistema de Gestión Nacional del Espectro <i>-National Spectrum Management System-</i>
OF	desviación de frecuencia [método de] <i>-Offset Frequency-</i>
OL	oscilador local
OLE	enlace e inclusión de objeto <i>-Object Linking and Embedding-</i>
PC	computador personal <i>-Personal Computer-</i>
PCG	grupo de control de potencia <i>-Power Control Group-</i>
PCS	servicios de comunicaciones personales <i>-Personal Communication Services-</i>
PI	identificación de programa <i>-Program Identification-</i>
PIN	numero de identificación personal <i>-Personal Identification Number-</i>
PLC	controlador lógico programable <i>-Programmable Logic Controller-</i>
P-MP	punto a multipunto <i>-Point-to-Multipoint-</i>

PPS	servicio de posicionamiento preciso <i>-Precise Positioning Service-</i>
PRN	ruido pseudoaleatorio
PS	servicio de programa <i>-Programme Service-</i>
RAIM	supervisión autónoma de la integridad del receptor <i>-Receiver Autonomous Integrity Monitoring-</i>
RDS	señal de datos radioeléctricos <i>-Radio Data Signals-</i>
RDSI	red digital de servicios integrados
RF	radiofrecuencia
RLL	bucle local radioeléctrico <i>-Radio Local Loop-</i>
RM	comprobación técnica a distancia <i>-Remote Monitoring-</i>
RMU	unidades de gestión de recursos <i>-Resource Management Units-</i>
RO	oscilador de referencia <i>-Reference Oscillator-</i>
ROE	relación de onda estacionaria
RP	radiobúsqueda <i>-Radio-paging-</i>
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
RS	Estación distante <i>-Remote Station-</i>
RTTY	radioteleimpresor <i>-radio teletypewriter-</i>
RTU	unidades de telemetría a distancia <i>-Remote Telemetry Units-</i>
SA	disponibilidad selectiva <i>-Selective Availability-</i>
SD	secuencia directa
SELCAL	llamada selectiva <i>-Selective Calling-</i>
SIM	módulos de identidad de abonado <i>-Subscriber Identity Modules-</i>
SNR	relación señal/ruido
SPS	servicio de posicionamiento normalizado <i>-Standard Positioning Service-</i>
SRNS	servicio de radionavegación por satélite
SS	espectro ensanchado

SSA	análisis estadístico del espectro - <i>Statistical Spectrum Análisis</i> -
SSL	localización de una sola estación - <i>Single Station Location</i> -
TCA	momento de máxima aproximación - <i>Time of Closest Approach</i> -
TCH	canal de tráfico - <i>Traffic Channel</i> -
TCP	protocolo de control de transmisión - <i>Transmission Control Protocol</i> -
TDF	transformada discreta de Fourier - <i>Discrete Fourier Transform</i> -
TDOA	diferencia de tiempo de llegada - <i>Time Difference of Arrival</i> -
TID	perturbación ionosférica itinerante - <i>Travelling Ionospheric Disturbance</i> -
TRF	transformada rápida de Fourier
UIT	Unión Internacional de Radiocomunicaciones
UIT-R	Sector de Radiocomunicaciones
UMA	Unidad de multa definida en moneda de Estados Unidos
UMTS	sistema universal de telecomunicaciones móviles - <i>Universal Mobile Telecommunication System</i> -
USCP	un solo canal por portadora
VCO	oscilador controlado por tensión
VI	incidencia vertical - <i>Vertical Incidente</i> -
VSAT	terminales de muy pequeña abertura
WAN	red de área extensa - <i>Wide Area Network</i> -

GLOSARIO

Adjudicación	Inscripción de un canal radioeléctrico determinado, en un plan de utilización de frecuencias adoptado por la administración del espectro.
Acimut	Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.
Ancho de Banda	Anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información de una emisión determinada a la velocidad de transmisión y con la calidad requerida en condiciones específicas.
Atenuación	Es la reducción en la densidad de potencia con la distancia.
Banda Base	Señal de información que modula la portadora principal.
Banda de frecuencia	Es una porción continua del espectro radioeléctrico comprendida entre una frecuencia mínima o límite inferior y una frecuencia máxima o límite superior.

Dipolo	Conjunto formado por dos entes físicos de caracteres contrarios u opuestos y muy próximos.
Direccional	Que está situado o se orienta en una dirección.
Directividad de Antena	Es la máxima ganancia en una dirección específica de acuerdo al patrón de radiación de una antena.
Espectro	Distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa.
Frecuencia	Numero de ciclos que por segundo efectúa una onda del espectro radioeléctrico.
Gestión	Servicio gubernamental responsable del cumplimiento de las obligaciones derivadas del convenio internacional de telecomunicaciones y sus reglamentos.

Interferencia	es el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad de la información
Interferómetro	Instrumento que produce y mide interferencias.
Intermodulación	resulta de una combinación de transmisores y emisiones espurias no deliberadas.
Ionizante	Flujo de partículas o fotones con suficiente energía para producir ionizaciones al atravesar una sustancia.
Ionosfera	Conjunto de capas de la atmósfera que están por encima de los 80 km. Presentan fuerte ionización causada por la radiación solar y afectan, de modo importante, a la propagación de las ondas radioeléctricas.
Log-periódicas	Series de elementos que se repiten periódicamente en función del logaritmo de la frecuencia

Modulación	Variar el valor de la amplitud, frecuencia o fase de una onda portadora en función de una señal.
Omnidireccionales	Antena que tiene un patrón de radiación con ganancia equivalente en un círculo de cobertura de 360°.
Radiogoniometría	Consiste en localizar una estación transmisora desconocida por medio de triangulación o localización por una sola estación, con equipo especial.
Transitorio	Pasajero, temporal.
Ruido	interferencia que afecta a un proceso de comunicación
Selectividad	Función de seleccionar o elegir una característica de entre varias.
Título de usufructo	Títulos que representen el derecho de usufructo. Este título establece los derechos por naturaleza para cualquier tipo de transmisión de ondas electromagnéticas que contengan información dentro del ancho de banda asignado

RESUMEN

Guatemala es un país, fuertemente, explotado por el uso de radio telecomunicaciones y otro tipo de radiación electromagnética, lo que provoca, en algunas situaciones, casos de radio interferencia perjudicial, los cuales afectan los servicios brindados por las mismas. De tal forma que existe un ente estatal denominado Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) destinado a la gestión y comprobación técnica de los servicios radioeléctricos, por medio de la ley general de telecomunicaciones. En la cual garantiza protección, comprobación y solución de los casos de interferencia que pudieran presentarse.

Para lograr la comprobación Técnica y solución de mencionado problema este proyecto tiene la finalidad de crear la documentación necesaria basada en normas y recomendaciones internacionales creadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) para el desarrollo del peritaje de comprobación técnica.

La documentación establecida, presenta como marco teórico el funcionamiento y operación de dos sistemas de telecomunicaciones, CDMA y GSM, asimismo, una descripción general de los conceptos elementales utilizados en la misma, posee, además, la normativa legalizada para Guatemala, establecida por la SIT y la ley general de telecomunicaciones enfocada, directamente, en interferencia perjudicial, para, luego, centrarse, directamente, en las características técnicas de antenas, receptores, equipos de

medición, líneas de transmisión y estaciones de comprobación técnica necesarios para la realización del peritaje de comprobación de interferencia.

Para concluir, con la descripción exacta de procedimientos, técnicas y métodos para la realización de mediciones como lo son: frecuencia, intensidad flujo de campo, ocupación del espectro, anchura de banda, modulación, radiogoniométricas y localización, necesarios para la determinación de interferencia.

OBJETIVOS

➤ GENERAL

Documentar, por medio de normas y recomendaciones internacionales, las características técnicas y métodos de medición necesarios para el desarrollo del peritaje de determinación sobre casos de radio interferencia.

➤ ESPECÍFICOS

1. Describir el funcionamiento de dos sistemas de telecomunicaciones móviles celulares que utilizan el espectro radio eléctrico para su transmisión.
2. Desarrollar conceptos elementales para la comprensión del uso y manejo del espectro radio eléctrico y sus entornos.
3. Analizar y describir las normativas legales estipulados por la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) dentro de la ley general de telecomunicaciones para la protección, comprobación y solución de problemas en casos de radio interferencia perjudicial.
4. Desarrollar la normativa y criterio general internacional para la comprobación y solución de problemas de radio interferencia por medio de normas y recomendaciones establecidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT.

5. Estructurar y documentar las características técnicas sobre antenas, receptores, equipos de medición y estaciones de comprobación técnica necesarios a utilizar durante el desarrollo del peritaje de determinación de radio interferencia normados por la UIT.
6. Describir los procedimientos estipulados por la UIT acerca de calibraciones, reparaciones y control metrológico en equipos de medición utilizados en el proceso.
7. Desarrollar la documentación de las técnicas y metodologías utilizadas por la UIT para el desarrollo de mediciones de frecuencia, intensidad de campo, ocupación de espectro, anchura de banda, modulación, radiogoniometría y localización para la realización del peritaje de determinación de interferencia perjudicial.

INTRODUCCIÓN

Las radio comunicaciones son esenciales en cualquier parte del mundo, ya que, permiten poder brindar distintos servicios tecnológicos de forma móvil, dentro de un área de cobertura específica. En Guatemala, existen varias compañías que explotan el espectro radio eléctrico para brindar servicios de telecomunicaciones, necesitando, de esta forma, radiar ondas electromagnéticas que conllevan información necesaria para poder realizar los servicios que prestan.

Debido a la creciente demanda que existe de este recurso esencial y limitado, Guatemala hace necesario crear una entidad gubernamental destinada a la gestión, comprobación y control del espectro radioeléctrico, llamada Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT) quien, a su vez, asigna cada banda de frecuencias de operación para cada uno de los servicios ofrecidos por las compañías de telecomunicaciones, garantizándoles un ancho de banda en el espectro radioeléctrico, libre de interferencias.

Una interferencia es el efecto de una energía no deseada, debido a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, la cual se manifiesta como degradación parcial o total de la calidad de la información.

La SIT es la encargada de dar soluciones a los posibles casos de interferencia que resultasen en Guatemala, solicitando para ello la realización

de un informe técnico que demuestre fehacientemente la existencia de la misma, también asignara los peritos que ejecuten verificación de comprobación.

Actualmente, en Guatemala, no existe un normativo unificado con las especificaciones y procedimientos necesarios para presentar mencionado informe técnico. Por consiguiente, la finalidad esencial de este trabajo de graduación es desarrollar su creación, basándose en normas y recomendaciones internacionales desarrolladas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).

Desarrollando, de esta forma, las características y requerimientos técnicos para la selección y utilización de antenas, receptores, líneas de transmisión, equipos de medición y unidades de comprobación, necesarios para la realización del peritaje de comprobación de radio interferencia.

Igualmente, se desarrollan las características, metodologías, técnicas y procedimientos para la ejecución de las respectivas mediciones, las cuales son, de frecuencia, de intensidad de flujo de campo, de ocupación del espectro, de anchura de banda, de modulación, radiogoniométricas y de localización, los cuales son la esencia de la realización del peritaje para la comprobación técnica de interferencia.

De tal forma, este proyecto beneficia a Guatemala, pues, podrá ser estipulado como normativo por la SIT y podrá ser utilizado por cualquier entidad que requiera determinar la existencia o no de interferencia sobre un área específica, por medio de la realización de un peritaje de comprobación técnica.

1. SISTEMAS DE TELEFONÍA MÓVIL

1.1. Telefonía móvil

Este sistema de telefonía no requiere de un enlace fijo, como un cable para la transmisión y recepción de información, utiliza la radio transmisión de ondas electromagnéticas, como la radio convencional, por lo que el terminal emitirá y recibirá las señales con una antena hacia y desde el repetidor más próximo (antenas repetidoras de telefonía móvil utilizadas por las radio bases o celdas) o vía satélite.

La telefonía móvil celular se basa en un sistema de áreas de transmisión, células que abarcan áreas comprendidas entre 1,5 y 5 km, dentro de las cuales existen una o varias estaciones repetidoras, que dependiendo la tecnología que utilicen radian señales con una determinada frecuencia, que debe ser diferente de las células circundantes, para el caso de GSM o pueden radiar señales en la misma frecuencia haciendo la diferencia en el dominio del código, para el caso de CDMA. El teléfono móvil envía la señal, que es recibida por la estación y remitida a través de la red al destinatario; conforme se desplaza el usuario, también se conmuta la célula receptora, variando la frecuencia de la onda herciana que da soporte a la transmisión. Según los sistemas, la señal enviará datos secuencialmente o por paquetes, bien como tales o comprimidos y encriptados.

En la actualidad, la mayoría de los sistemas de telefonía celular emplean sistemas digitales, que han sustituido a los analógicos de primera generación

(1G). El primer sistema digital europeo (GSM de Global System for Mobile Communication), conocido como sistema celular de segunda generación (2G), se comenzó a implantar en 1992, y en 1995 operó por primera vez en España; con él se puso en marcha el sistema de transmisión de mensajes cortos de texto, SMS (Short Messaging Service), y el acceso a Internet mediante la tecnología WAP (Wireless Application Protocol). Ya en 2000 en Europa y en 2002 en Estados Unidos, comenzaron a comercializarse los sistemas dotados con GPRS (General Packet Radio Service, servicio general de radio mediante paquetes de información); se le conoce como sistema de telefonía 2,5G, una tecnología intermedia entre los sistemas de segunda y tercera generación. Entre sus novedades destaca la posibilidad de recepción y envío continuo de grupos de datos mediante el protocolo IP (Internet Protocol), que mejora sustancialmente la navegación a través de la red y el poder superar el límite de 160 caracteres en los SMS, a la vez que permite enviar y recibir imágenes y elementos multimedia.

Los sistemas de tercera generación (3G), explotados comercialmente en Japón desde 2001, han sufrido repetidos aplazamientos por problemas tecnológicos y logísticos en todo el mundo, lo que ha retrasado sustancialmente su comercialización. En Europa y parte de Asia se ha optado en 2000 por el sistema UMTS (Universal Mobile Communication Service, servicio móvil universal para comunicaciones), y en Estados Unidos y parte de Asia y América, por el denominado sistema CDMA-2000; ambos forman parte del IMT-2000, un estándar de la International Telecommunications Union (ITU), con sede en Ginebra, Suiza. Los sistemas 3G se apoyan fundamentalmente en dos estándares, el CDMA-2000 (Code Division Multiple Access 2000) y W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), y otros propietarios de ciertos operadores, siendo incompatibles entre sí y diferenciándose en la velocidad máxima de transmisión de datos. Los sistemas CDMA son más sencillos de

implementar y proporcionan hasta tres veces mayor capacidad de transmisión; en el emisor se convierten los datos a formato digital y se comprimen, el receptor además de recibir los paquetes de datos y decodificarlos, hace una comprobación de errores y los reconvierte a formato de onda, en su caso, para transmisiones de voz.

1.2. Sistema CDMA "code division multiple access"

1.2.1. Tecnología CDMA

CDMA permite que cada estación transmita en el espectro completo de frecuencia todo el tiempo. Las transmisiones múltiples simultáneas se separan usando la teoría de codificación, además evita que los marcos en colisión se alteren completamente, debido a que las señales múltiples se suman linealmente.

Dentro de CDMA todos los canales de comunicación están transmitiendo simultáneamente pero con distinto código por tanto, la clave de CDMA es ser capaz de extraer la señal deseada mientras se rechaza todo lo demás como ruido aleatorio.

En CDMA, cada tiempo de bit se subdivide en m intervalos cortos llamados *chips*. Comúnmente hay 64 o 128 *chips* por bit. A cada estación se asigna un código único de m bits, o secuencia de chips. Para transmitir un bit 1, una estación envía su secuencia de chips; para transmitir un bit 0, envía el complemento a 1 de su secuencia de chips. No se permiten otros patrones. Por tanto, para $m=8$, si la estación A tiene asignada la secuencia de chips

00011011, envía un bit 1 transmitiendo 00011011, y un bit 0 enviando 11100100.

El aumento en la cantidad de información a ser enviada de b bits/seg a mb chips/seg sólo puede lograrse si el ancho de banda disponible se incrementa por un factor de m , haciendo de CDMA una forma de comunicación de espectro amplio (suponiendo que no hay cambios en la técnica de modulación ni de codificación), el cual consiste en expandir la información de la señal sobre un ancho de banda mayor para con ello dificultar las interferencias y su interceptación. Si tenemos una banda de 1 MHz disponible para 100 estaciones, con FDM cada una tendría 10 KHz y podría enviar a 10 kbps (suponiendo 1 bit por Hz). Con CDMA, cada estación usa la totalidad del 1 MHz, por lo que la razón de chips es de 1 megachip por segundo. Con menos de 100 chips por bit, el ancho de banda efectivo por estación es mayor para CDMA que para FDM y se resuelve también el problema de reparto del canal. En principio, y desde el punto de vista de ocupación del espectro radioeléctrico, un nuevo usuario siempre puede ser aceptado por un sistema CDMA con una ligera degradación de la calidad de la comunicación para todos los demás usuarios.

En un sistema CDMA ideal sin ruido, la capacidad (es decir el número de estaciones) puede hacerse arbitrariamente grande, de la misma manera que puede hacerse arbitrariamente grande la capacidad de un canal Nyquist sin ruido usando más y más bits por muestra. En la práctica, las limitaciones físicas reducen considerablemente la capacidad. Primero se ha supuesto que todos los chips están sincronizados en el tiempo, que en realidad esto es imposible. Lo que puede hacerse es que el transmisor y el receptor se sincronicen pidiendo al transmisor que envíe una secuencia de chips conocidas, de longitud suficiente, a la que se pueda enganchar el receptor.

Todas las demás transmisiones no sincronizadas son vistas entonces como ruido aleatorio. Cuanto mayor es la secuencia de chips, mayor es la probabilidad de detectarla correctamente en presencia de ruido. Si se desea seguridad extra, la secuencia de bits puede usar un código de corrección de errores. Las secuencias de chips nunca utilizan códigos de corrección de errores.

Un implícito es que los niveles de potencia de todas las estaciones son iguales, según lo percibe el receptor. CDMA se usa comúnmente para sistemas inalámbricos con estación base fija y muchas estaciones móviles a distancias variables de ella. Los niveles de potencia recibidos en la estación base dependen de la distancia a la que se encuentren los transmisores. La estación móvil transmite a la estación base en un nivel de potencia inverso al que recibe de la estación base, por lo que una estación móvil que recibe una señal débil de la base usará más potencia que una que recibe una señal fuerte. La estación base también puede dar ordenes explícitas a las estaciones móviles para que aumenten o disminuyan su potencia de transmisión.

1.2.2. Detección de señales CDMA

Existen varias técnicas, entre ellas están la detección single user, la detección conjunta y la cancelación de interferencias.

En el caso de detección single user, todas las señales dentro de una celda, excepto la señal deseada, son tratadas como ruido, de modo que aquí son significativas las interferencias que pueden existir dentro de las celdas como entre ellas mismas.

En los sistemas con detección conjunta todas las señales dentro de una celda se detectan a la vez, explotando el conocimiento previo de los códigos, de modo que la interferencia intracelular se elimina.

Existe un procedimiento intermedio entre ellos, conocido como cancelación de interferencias, que consiste en detectar la componente más fuerte de la señal recibida, reconstruir la contribución de esta señal a la señal total y restarla de la misma. El proceso se repite, y la interferencia efectiva se reduce.

La ventaja de los sistemas CDMA con detección single user es su flexibilidad, que resulta del hecho de que las señales individuales de cada usuario se procesan independientemente en los receptores y por tanto, pueden generarse también con independencia de los transmisores de tal forma las señales de cada usuario pueden desconectarse o conectarse sin coordinación con los demás usuarios. Sin embargo, con este procedimiento aumenta la interferencia intracelular; para limitar esta interferencia el control de potencias debe ser muy estricto, por lo que se separan las bandas del enlace ascendente y del descendente mediante una técnica FDD.

1.2.3. Ventajas de redes CDMA

- Provee calidad superior de voz, filtra los ruidos de fondo, cruces de llamadas, e interferencia, mejorando grandemente la privacidad y calidad de la llamada. Contiene un codificador de fonía de 13 Kb de alta calidad.
- Aumenta la capacidad del sistema, eliminando virtualmente señales de ocupado y llamadas interrumpidas que resultan de la congestión del sistema. Utilizando un sistema patentado de pasar llamadas entre celdas conocido como traslado de llamadas "soft handoff" sin cambiar de

frecuencia. CDMA también reduce significativamente la posibilidad de llamadas alteradas o interrumpidas durante el traslado de llamadas.

- La señal de espectro amplio de CDMA provee mayor cobertura que otras tecnologías inalámbricas, tanto dentro de locales como al aire libre. CDMA también interacciona con otras formas de sistemas de telecomunicación, permitiendo amplias y fluidas coberturas y conexiones.
- El canal de control digital de CDMA permite a los usuarios el acceso a una amplia gama de servicios que incluyen identificación de llamada, mensajes cortos y transmisión de datos. Permitiendo también la transmisión simultánea de voz y datos.
- Evolución hacia cdma2000 que es la tecnología de tercera generación que es un resultado evolutivo de cdmaOne y que ofrece a los operadores que han desplegado un sistema cdmaOne de segunda generación una trayectoria de migración transparente que respalda económicamente la actualización a las características y servicios 3G dentro de las asignaciones del espectro actual tanto para los operadores celulares como los de PCS. Mejorando la capacidad de datos en paquetes a 144 kbps en un entorno móvil y a mayor velocidad en un entorno fijo, dando así una capacidad de datos de más de 300 kbps, servicios avanzados de datos en paquete, ofreciéndose todas estas capacidades en un canal existente de 1.25 MHz de cdmaOne.
- Emplea un handoff suave que permite que el teléfono reciba señales de 3 a 5 celdas adyacentes y combina todas las transmisiones de ellas para eliminar los silencios de cambio entre una y otra, debido a que mejora la calidad general de la señal
- Codificadores de fonía de velocidad variable, que reducen la velocidad de transmisión cuando el altavoz no esté funcionando. Esta técnica permite que el canal se compacte más eficientemente, dando como resultado capacidad adicional.

- Se emplean técnicas de control de fuerza para mantener la potencia transmitida en el mínimo absoluto que se requiere para dar como resultado una llamada de gran calidad. La relación con la capacidad es como sigue: Menos potencia = menos energía = menos interferencias = mayor capacidad

1.3. Sistemas GSM

1.3.1. Descripción de red

Como se ha dicho GSM es el estándar europeo para la segunda generación de telefonía móvil, de la cual podemos describir múltiples características.

- Las bandas de frecuencia en las que trabaja son:
Transmisión de la estación móvil: 890-915 MHz
Transmisión de la estación base: 935-960 MHz
- Tiene una separación dúplex de 45MHz y tiene una separación de canales de 200 Khz con una selectividad de canal adyacente de 18dB.
- Utiliza una modulación GMSK y una relación de protección para interferencia co-canal de 9dB y para los adyacentes de -9dB. Tiene una PIRE máxima de las estaciones base de 500W de portadora.

GSM tiene una estructura celular y reutilización de manera que pueden utilizarse celdas convencionales de radio variable 3.5Km (zonas rurales) y 1 Km (zonas urbanas). En regiones en elevada densidad de tráfico pueden sectorizarse las celdas mediante el empleo de antenas direccionales. La reutilización posible equivale a una agrupación de 9 o 12 celdas o bien 7 celdas para uso omnidireccional.

Acceso múltiple: TDMA con 8 intervalos de tiempo por trama. La duración de cada intervalo es de 0,577ms. La trama comprende 8 canales físicos que transportan los canales lógicos de tráfico y señalización (control). Se dispone también de un sistema de multitramas: uno que consta de 26 tramas con intervalos de 120ms, y otra que consta de 51 tramas con intervalos de 236ms.

Tiene dos canales de tráfico para voz y datos respectivamente. El primero de ellos se definió el denominado canal de velocidad completa que hace uso de un codificador vocal que proporciona una señal digital de 13Kb/s. Tras la codificación de canal, la velocidad binaria bruta es de 22,8Kb/s. El segundo de los canales se sustenta sobre el canal de tráfico a velocidades desde 2,4 hasta 119 Kb/s con diferentes procedimientos de adaptación de la velocidad, codificación de canal y entrelazado. También se admiten servicios de datos naturaleza no transparente con una velocidad binaria de 12Kb/s.

Los interfaces que la red pública móvil terrestre tendrá son, una conexión con la red telefónica conmutada y la red digital de servicios integrados. GSM utiliza una señalización entre las estaciones base y la MSC que sigue un procedimiento parecido a ISDN. Entre las MSC se utiliza un Sistema de Señalización SS7 del CCITT.

En cuanto a la seguridad GSM dispone de capacidades de Cifrado de las comunicaciones de voz y datos y un completo sistema de autenticación para el acceso al sistema por parte de los terminales. También ofrece la posibilidad de que los móviles puedan realizar la transmisión en la modalidad de saltos de frecuencia bajo mandato de la red, para lograr una mayor protección gracias a la diversidad de frecuencia. También se puede transmitir sólo cuando haya señal moduladora a fin de economizar la duración de la batería de los terminales portátiles y reducir interferencias.

Hoy en día el número de usuarios de telefonía y de Internet móvil ha crecido exponencialmente, por eso surgió la necesidad de implementar una tecnología denominada GPRS (Global Packet Radio Service) que está basado sobre la tecnología GSM. Esta tecnología comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de 'paquetes'. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz.

En GPRS los canales de comunicación se comparten entre los distintos usuarios dinámicamente, de modo que un usuario sólo tiene asignado un canal cuando se está realmente transmitiendo datos, permitiendo así compartir cada canal por varios usuarios, mejorando así la eficiencia en la utilización de los recursos de red. Además se alcanzan velocidades de transmisión de datos de un mínimo 40 Kbps y un máximo de 115 Kbps por comunicación.

1.3.2. Ventajas de redes GSM

La arquitectura abierta de GSM ofrece una compatibilidad superior con sistemas, equipos y aplicaciones desarrolladas alrededor del mundo. Las principales ventajas y beneficios son:

- Uso más eficiente de la banda de frecuencias soportando 8 canales de tráfico digital.
- Mayor calidad de voz utilizando vocoders de digitalización de 13 bits muestreada a 8KHz.

- Proporciona una comunicación libre de interferencias sin pérdidas en la cobertura, minimizando posibles inconvenientes propios de un enlace en movimiento.
- Mejora el proceso de traspaso de la transmisión de una BTS a otra (proceso de Handoff), el teléfono envía constantemente datos acerca de la recepción de su celda y de las celdas vecinas proporcionando información sobre el VLR para evaluar mejor el traspaso y hacerlo más confiable, independiente de la velocidad del móvil.
- Seguridad, privacidad y flexibilidad: a través de la tarjeta SIM que lleva cada teléfono.
- Innovación constante: los avances más populares e importantes en la comunicación así como en los servicios de valor agregado más exitosos se han dado en las redes GSM.
- Roaming universal, debido a que la información de la SIM card es única para cada usuario y puede alocarse en cualquier sistema creando un VLR.
- Terminales GSM que ofrecen más beneficios, funciones y diseños más atractivos. Estos celulares son más económicos comparados con los TDMA y CDMA, gracias a las economías de escala que otorga fabricar para el 70% de los suscriptores de telefonía celular del mundo.
- Transmisión de datos síncronos y asíncronos a mayores velocidades de transmisión ya que se pueden tener varios canales asignados para la transmisión llegando hasta 144 Kb/s.
- Modo de transmisión asimétrico tendrá cuatro veces mayor capacidad de transmisión de datos de bajada que de subida
- Acceso a servicios de información (a través del servicio WAP).
- Tráfico hacia la Red Digital de Servicios Integrados (ISDN).

- Acceso a otras redes de datos asíncronos: soporta tráfico hacia las redes públicas de conmutación de paquetes y conmutación de circuitos, necesitando un interfaz en función de cada propósito.
- Sistema de doble banda y tribanda permitiendo así el cambio entre bandas de GSM 900 MHz a 1800 y 1900MHz.

1.3.3. Desventajas y correcciones en redes GSM

Como todo estándar tiene beneficios también tiene sus inconvenientes como pueden ser:

- Pérdidas por la distancia debido a que la potencia entregada a la antena es inversamente proporcional a la distancia y a la frecuencia de la transmisión.
- Desvanecimiento debido a la existencia de obstáculos físicos que interfieran directamente con la longitud de onda de la frecuencia de transmisión.
- Alineamiento temporal ya que la tecnología TDMA requiere que la estación móvil transmita sólo en el intervalo de tiempo asignado y que permanezca en silencio el resto del tiempo, de otro modo interfiere con otras transmisiones que usan el mismo canal. Si el móvil se aleja de la estación, la información tarda más tiempo en llegar. Como consecuencia, el móvil demora en responder, haciendo uso de tiempo destinado a otras transmisiones, interfiriéndolas.
- Dispersión en el tiempo que aparece en comunicaciones digitales ya que el receptor encuentra distorsión al recibir simultáneamente una información binaria, que si bien han sido enviados por separado y secuencialmente, el segundo ha tomado una ruta más rápida que el primero, llegando ambos al mismo tiempo.

Con el desarrollo de la tecnología GSM se han creado soluciones a estos problemas de transmisión y son:

- Codificación de la voz utilizando algoritmos matemáticos permitiendo reducir la cantidad de bits.
- Codificación de canal agregando bloques de bits de redundancia y de codificación de convolución.
- Salto de frecuencia para lograr que un canal no se quede transmitiendo e interfiera con otra comunicación.
- Diversidad de antena para utilizar dos canales de recepción que se vean afectados de diferente forma por los desvanecimientos eligiendo en cada momento la mejor de las dos.
- Ecuador de Interferencia que simula un canal ideal y sirve para determinar la información digital que se esta recibiendo.
- Avance en el tiempo de la información transmitida, debido a que la estación móvil se aleja de la radio base durante la llamada, esta debe de enviar una ráfaga por adelantado respecto del tiempo de sincronización, sin embargo hay un límite, para evitar que se mezclen con otros intervalos de tiempo.

1.3.4. Módulo de identificación de abonado (SIM)

El sistema GSM incorpora un modulo que es utilizado dentro de la unidad móvil denominado SIM-CARD (Subscriber Identity Module) contiene información para los operadores dentro de la red GSM. Esta información puede estar relacionada con el abonado, con los servicios contratados a él, e información relativa a la red móvil, como la localización

Excepto las llamadas de emergencia, las estaciones móviles sólo se pueden utilizar si contienen la tarjeta SIM válida, debido a que esta debe contener una función de seguridad para la autenticación de la identidad del usuario. La tarjeta almacena tres tipos de información relacionada con el abonado:

- Datos fijos que se almacenan antes que se venda la suscripción; por ejemplo la clave de autenticación y algoritmo de seguridad.
- Datos de red temporales
- Datos relativos al servicio.

Existen 2 tipos de almacenamientos sobre la SIM, el de tipo obligatorio y el tipo opcional.

En el almacenamiento obligatorio la tarjeta SIM contiene información administrativa para el funcionamiento del equipo. Como el modo de operación, identidad internacional del abonado, información sobre localización, medidor de tiempo, preferencias de idioma y por supuesto, el número de identificación del equipo en la red.

En el almacenamiento opcional puede contener cualquier tipo de información de incumbencia que el cliente requiera.

2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES FUNDAMENTALES

2.1. Frecuencia

Término empleado en física para indicar el número de veces que se repite en un segundo cualquier fenómeno periódico. La frecuencia es muy importante en muchas áreas de la física, como la mecánica o el estudio de las ondas de sonido.

En todas las clases de movimiento ondulatorio, la frecuencia de la onda suele darse indicando el número de crestas de onda que pasan por un punto determinado cada segundo. La velocidad de la onda y su frecuencia y longitud de onda están relacionadas entre sí. La longitud de onda (la distancia entre dos crestas consecutivas) es inversamente proporcional a la frecuencia y directamente proporcional a la velocidad. En términos matemáticos, esta relación se expresa por la ecuación $v = \lambda f$, donde v es la velocidad, f es la frecuencia y λ (lambda) es la longitud de onda. A partir de esta ecuación puede hallarse cualquiera de las tres cantidades si se conocen las otras dos. La frecuencia se expresa en hercios (Hz); una frecuencia de 1 Hz significa que existe 1 ciclo u oscilación por segundo

Las ondas de radio son fenómenos de alta frecuencia, estas ondas y otros tipos de radiación electromagnética pueden caracterizarse por sus longitudes de onda o por sus frecuencias. Las ondas electromagnéticas de frecuencias extremadamente elevadas, como la luz o los rayos X, suelen describirse mediante sus longitudes de onda, que frecuentemente se expresan en nm

oscilación, alrededor de una posición de equilibrio. Puede ser una oscilación de moléculas de aire, como en el caso del sonido que viaja por la atmósfera, de moléculas de agua (como en las olas que se forman en la superficie del mar) o de porciones de una cuerda o un resorte. En todos estos casos, las partículas oscilan en torno a su posición de equilibrio y sólo la energía avanza de forma continua. Estas ondas se denominan mecánicas porque la energía se transmite a través de un medio material, sin ningún movimiento global del propio medio. Las únicas ondas que no requieren un medio material para su propagación son las ondas electromagnéticas; en ese caso las oscilaciones corresponden a variaciones en la intensidad de campos magnéticos y eléctricos

2.2. Ancho de banda

En comunicaciones el ancho de banda es la diferencia entre la frecuencia más alta y la más baja de un canal de transmisión, por ejemplo un radiotransmisor, una antena parabólica o el cableado que conecta las computadoras en una red local; se mide en ciclos por segundo (hercios, Hz). También se denomina ancho de banda a la cantidad de datos que se pueden transmitir en determinado periodo de tiempo por un canal de transmisión; así considerado, el ancho de banda se expresa en bits por segundo (bps). Por ejemplo, un módem de 56 Kbps es capaz, en teoría, de enviar alrededor de 56.000 bits de datos por segundo, mientras que una conexión de red Ethernet con un ancho de banda de 100 Mbps (cien millones de bips por segundo), puede enviar casi 1.800 veces más datos en el mismo periodo de tiempo.

El ancho de banda es la máxima cantidad de datos que pueden pasar por un camino de comunicación en un momento dado. Cuanto mayor sea el ancho de banda, más datos podrán circular por ella al segundo.

Para señales analógicas, el ancho de banda es la anchura, medida en hertz, del grupo de frecuencias que realizan trabajo útil. Esto es calculado mediante un análisis de Fourier. Este grupo de frecuencias es en donde se encuentra concentrada la mayor energía de la señal. También son llamadas frecuencias efectivas las pertenecientes a este rango.

El análisis de la señal en el dominio de la frecuencia a través de su espectro, nos permite definir el concepto de ancho de banda de la señal, es decir el espectro que ocupa la señal para una determinada calidad.

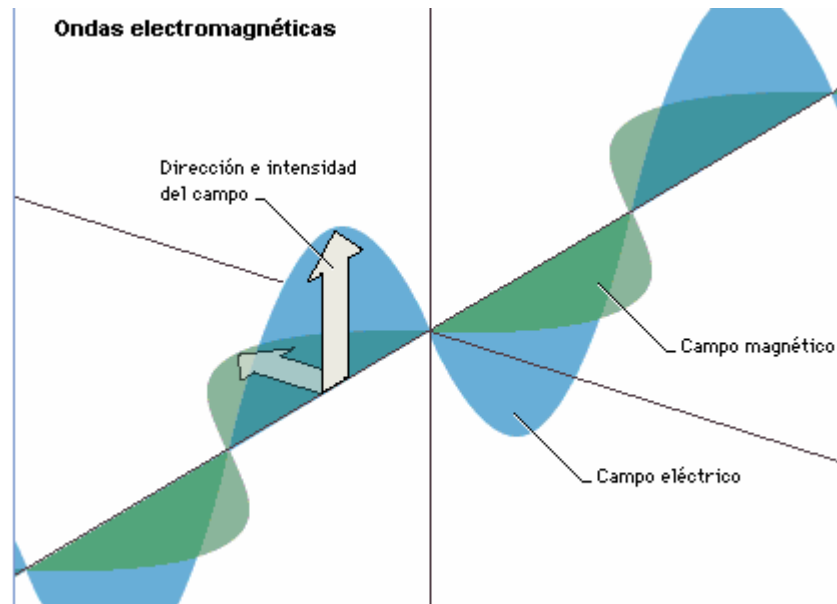
Las señales se transmiten a través de sistemas de comunicaciones que tienen su propio ancho de banda, el modelado más simple de sistema es a través de un filtro, que se caracterizará por su respuesta de amplitud y frecuencia, y sabemos que si la respuesta es plana y la fase es lineal para las frecuencias de interés la señal no se distorsionará (en otras palabras si el ancho de banda del canal es mayor que el ancho de banda de la señal, no se distorsionará la señal de entrada) estas son las razones por las cuales los conceptos de frecuencia son tan ampliamente utilizados en el trabajo diario de comunicaciones, ya que podemos estudiar fácilmente cómo un sistema distorsiona una señal que pasa a través de él.

La distorsión puede ser deseable, como en el caso de sistemas diseñados para producir ciertas señales controladas a su salida. Pero también puede ser indeseable, como en el caso de la transmisión de una señal a través de un sistema de comunicaciones.

2.3. Ondas electromagnéticas

Las ondas electromagnéticas son una combinación de campos eléctrico y magnético oscilantes y perpendiculares entre sí, que se generan mutuamente y se propagan a través del espacio como una serie de ondas transportando energía como se muestra en la figura 2

Figura 2 Ondas Electromagnéticas

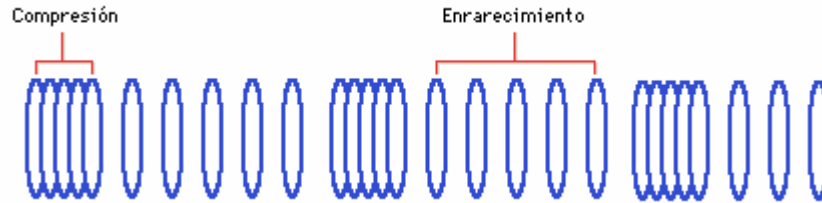


Fuente: <http://www.redeya.com>

2.3.1. Tipos de ondas

Las ondas se clasifican según la dirección de los desplazamientos de las partículas en relación a la dirección del movimiento de la propia onda. Si la vibración es paralela a la dirección de propagación de la onda, la onda se denomina longitudinal (ver figura 3).

Figura 3 Onda longitudinal



Fuente: <http://www.wikimediafoundation.org>

Una onda longitudinal siempre es mecánica y se debe a las sucesivas compresiones (estados de máxima densidad y presión) y enrarecimientos (estados de mínima densidad y presión) del medio. Las ondas sonoras son un ejemplo típico de esta forma de movimiento ondulatorio.

Figura 4 Onda Transversal



Fuente: <http://wikimediafoundation.org>

Otro tipo de onda es la onda transversal, en la que las vibraciones son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Las ondas transversales pueden ser mecánicas, como las ondas que se propagan a lo largo de una cuerda tensa cuando se produce una perturbación en uno de sus extremos (ver figura 4), o electromagnéticas, como la luz, los rayos X o las ondas de radio. En esos casos, las direcciones de los campos eléctrico y magnético son perpendiculares a la dirección de propagación.

En una onda transversal, la longitud de onda es la distancia entre dos crestas o valles sucesivos. En una onda longitudinal, corresponde a la distancia entre dos compresiones o entre dos enrarecimientos sucesivos. La frecuencia de una onda es el número de vibraciones por segundo. La velocidad de propagación de la onda es igual a su longitud de onda multiplicada por su frecuencia. En una onda electromagnética, su amplitud es la intensidad máxima del campo eléctrico o del campo magnético.

2.3.2. Radiación electromagnética

La radiación electromagnética son ondas producidas por la oscilación o la aceleración de una carga eléctrica. Las ondas electromagnéticas tienen componentes eléctricos y magnéticos. La radiación electromagnética se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas (longitudes de onda pequeñas) hasta frecuencias muy bajas (longitudes de onda altas).

Las ondas electromagnéticas no necesitan un medio material para propagarse. Así, estas ondas pueden atravesar el espacio interplanetario e interestelar y llegar a la Tierra desde el Sol y las estrellas. Independientemente de su frecuencia y longitud de onda, todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad $c = 299.792 \text{ km/s}$. Todas las radiaciones del espectro electromagnético presentan las propiedades típicas del movimiento ondulatorio, como la difracción y la interferencia. Las longitudes de onda van desde billonésimas de metro hasta muchos kilómetros. La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) de las ondas electromagnéticas, relacionadas mediante la expresión $\lambda \cdot f = c$, son importantes para determinar su energía, su visibilidad, su poder de penetración y otras características.

Las ondas de Radio son un tipo de ondas electromagnéticas, lo cual confiere tres ventajas importantes:

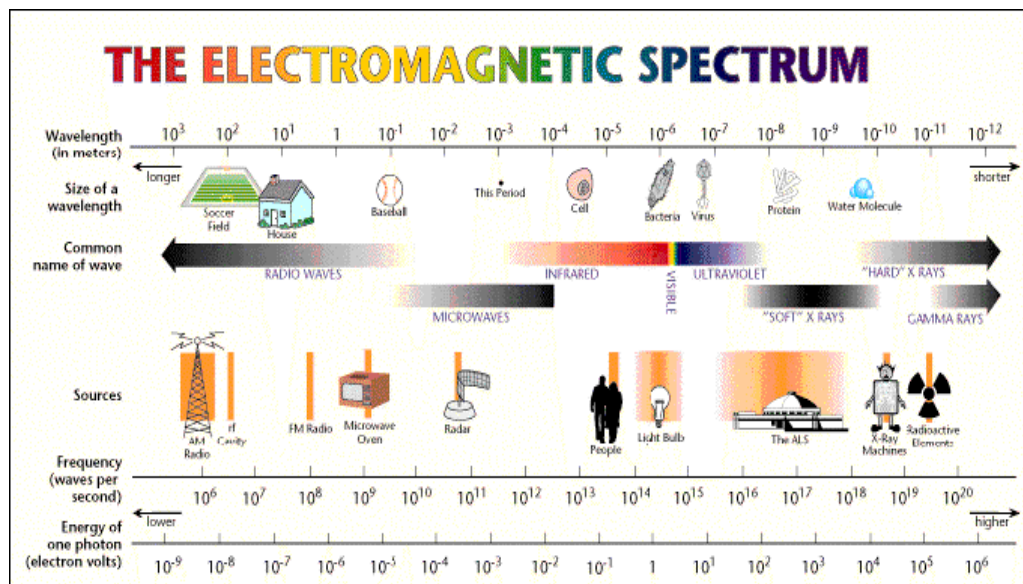
- No es necesario un medio físico para su propagación, las ondas electromagnéticas pueden propagarse incluso por el vacío.
- La velocidad es la misma que la de la luz, es decir 300.000 Km/seg.
- Objetos que a nuestra vista resultan opacos son transparentes a las ondas electromagnéticas.

No obstante las ondas electromagnéticas se atenúan con la distancia, de igual forma y en la misma proporción que las ondas sonoras. Pero esta desventaja es posible minimizarla empleando una potencia elevada en la generación de la onda, además que tenemos la ventaja de la elevada sensibilidad de los receptores.

2.4. Espectro electromagnético

El espectro es la representación visual y cognitiva según un ordenamiento determinado a priori con los elementos disponibles para llevar a cabo la representación del mismo. Esta es generalmente plana y viene dada por la distribución de la intensidad de una radiación en función de una magnitud característica, como la longitud de onda, la energía, la frecuencia o la masa. Como se muestra en la figura 5.

Figura 5 Distribución del espectro electromagnético



Fuente: <http://www.abs.com>

El espectro electromagnético está compuesto por rayos gamma, rayos X duros y blandos, radiación ultravioleta, luz visible, rayos infrarrojos, microondas y ondas de radio.

Los rayos gamma y los rayos X duros tienen una longitud de onda de entre 0,005 y 0,5 nanómetros. Los rayos X blandos al igual que la radiación ultravioleta tienen longitudes de onda próximas a los 50 nm. La región ultravioleta, a su vez, da paso a la luz visible, que va aproximadamente desde 400 hasta 800 nm. Los rayos infrarrojos o 'radiación de calor' se aproximan con las frecuencias de radio de microondas, entre los 100.000 y 400.000 nm. Desde esta longitud de onda hasta unos 15.000 m, el espectro está ocupado por las diferentes ondas de radio; más allá de la zona de radio, el espectro entra en las bajas frecuencias, cuyas longitudes de onda llegan a medirse en decenas de miles de kilómetros.

Todos los diferentes tipos radiación forman el llamado *espectro* electromagnético (ver tabla I). Pero todos se mueven con la misma velocidad, 300.000.000 de metros por segundo.

Tabla I distribución del espectro radio eléctrico

RADIACIÓN	Longitud de onda	Frecuencia	Energía
Rayos gamma	< 10 pm	>30.0 EHz	>19.9E-15 J
Rayos X	< 10 nm	>30.0 PHz	>19.9E-18 J
Ultravioleta Extremo	< 200 nm	>1.5 PHz	>993E-21 J
Ultravioleta Cercano	< 380 nm	>789 THz	>523E-21 J
Luz Visible	< 780 nm	>384 THz	>255E-21 J
Infrarrojo Cercano	< 2.5 um	>120 THz	>79.5E-21 J
Infrarrojo Medio	< 50 um	>6.00 THz	>3.98E-21 J
Infrarrojo Lejano	< 1 mm	>300 GHz	>199E-24 J
Microondas	< 30 cm	>1.0 GHz	>1.99e-24 J
Ultra Alta Frecuencia Radio	<1 m	>300 MHz	>1.99e-25 J
Muy Alta Frecuencia Radio	<10 m	>30 MHz	>2.05e-26 J
Onda corta Radio	<180 m	>1.7 MHz	>1.13e-27 J
Onda Media(AM) Radio	<650 m	>650 kHz	>4.31e-28 J
Onda Larga Radio	<10 km	>30 kHz	>1.98e-29 J
Muy Baja Frecuencia Radio	>10 km	<30 kHz	<1.99e-29 J

Fuente: <http://abs.com>

2.4.1. Densidad espectral de fuerza

La Densidad Espectral de Fuerza o DEF es un método para poner una escala en el eje de amplitudes de algunos espectros que consisten en señales aleatorias en lugar de señales deterministas. Ya que una señal aleatoria tiene su energía repartida en una banda de frecuencias; no tiene sentido de hablar de su valor RFC a una frecuencia específica. Solamente tiene sentido considerar su amplitud en una banda fija de frecuencias, por lo general 1 Hz. DSF se define en términos de cuadrado de amplitud por Hertzio, y por eso es proporcional a la fuerza entregada por la señal en una banda de un Hz.

2.5. Antenas

Son equipos utilizados en electrónica para propagar o recibir ondas de radio o electromagnéticas. Es indispensable para emitir o recibir señales de radio, televisión, microondas, de teléfono y de radar. La mayoría de las antenas de radio y televisión están hechas de cables o varillas metálicas conectadas al equipo emisor o receptor. Cuando se utiliza una antena para transmitir (propagar) ondas de radio, el equipo emisor hace oscilar la corriente eléctrica a lo largo de los cables o de las varillas. La energía de esta carga oscilante se emite al espacio en forma de ondas electromagnéticas (radio). En el caso de la recepción, estas ondas inducen una pequeña corriente eléctrica en la parte metálica de la antena, que se amplifica con el receptor de radio. Por lo general se puede utilizar una misma antena para recibir y transmitir en una misma longitud de onda, siempre que la potencia de emisión no sea demasiado grande.

Las dimensiones de la antena dependen de la longitud, o frecuencia, de la onda de radio para la que está diseñada. Las dimensiones de la antena tienen que ser tales que entren en resonancia eléctrica a la longitud de onda deseada, la longitud básica debe ser al menos la mitad de las ondas de radio a emitir o recibir. También puede ser un múltiplo entero de la mitad de aquélla, es decir, 1; 1,5; 2; 2,5..., veces la longitud de onda. Este tipo de antenas reciben el nombre de resonantes y constituyen un eficaz medio de propagación o recepción de energía electromagnética. El factor de longitud media de onda es aplicable a todas las antenas excepto las circulares.

La energía eléctrica se envía a la antena por una línea de transmisión, o cable coaxial, con dos conductores. Si uno de ellos va conectado a tierra y el otro al extremo de la antena horizontal, se dice que la antena es de tipo largo. Si la antena está partida a la mitad con cada uno de los extremos conectados a un conductor de la línea de transmisión, se denomina dipolo, el tipo de antena más sencillo y básico. La típica antena de televisión es un dipolo.

El dipolo emite y recibe la mayor parte de la energía de forma perpendicular al mástil; en el sentido de éste se propaga muy poca energía. Esta direccionalidad constituye una de las características eléctricas más importantes de la antena. Permite orientar la emisión o recepción en una dirección concreta, excluyendo señales en otras direcciones.

Una segunda característica básica de las antenas es su ganancia o sensibilidad. La ganancia y la direccionalidad se pueden controlar colocando varios dipolos para configurar la antena llamada así arreglos de antena.

La tercera característica la constituye el ancho de banda o resonancia a las señales en toda una banda de longitudes de onda. Las habituales antenas

de radio domésticas tienen que poseer un amplio ancho de banda para captar las emisoras de diferentes longitudes de onda. Las antenas helicoidales que se utilizan en las comunicaciones espaciales poseen un ancho de banda muy reducido y una enorme ganancia.

Entre las antenas verticales se incluye la antena Marconi. Por lo común se trata de una barra vertical o mástil de un cuarto de longitud de onda, equivalente a la mitad de un dipolo vertical, mientras que la tierra actúa como la otra mitad. Estas antenas flexibles se utilizan frecuentemente en comunicaciones móviles de alta frecuencia. La parte metálica del automóvil actúa como la otra mitad del dipolo. Entre los tipos de antenas verticales de gran longitud de onda se encuentra la de media onda que utilizan las emisoras de banda normal (AM). La antena está formada por toda la torreta emisora. Las antenas rómbicas horizontales proporcionan una buena direccionalidad para longitudes de onda mayores y se utilizan en las comunicaciones internacionales de radio.

Los radiotelescopios y los sistemas de radar operan con longitudes de onda inferiores a 30 cm, denominadas microondas, que se comportan de forma similar a las ondas de luz, y las antenas de microondas son como pequeños focos. La emisora de microondas puede ser un pequeño dipolo o un orificio de un conductor especial denominado guía de ondas. La energía de las microondas se refleja en un paraboloide metálico que la convierte en un rayo muy fino. Existen muchos tipos de antenas de radar; algunas de ellas son capaces de variar eléctricamente, sin movimiento, la dirección del rayo.

2.6. Ruido

Denominamos ruido a toda señal no deseada que se introduce en el sistema junto a las señales que nos transportan información útil. Las señales de ruido suelen ser aleatorias y su procedencia suele ser variada. En teoría de la información, el término ruido designa una señal que no contiene información. En acústica, el llamado ruido blanco está formado por todas las frecuencias audibles, igual que la luz blanca está formada por todas las frecuencias visibles.

Normalmente se han venido clasificando las perturbaciones que puede sufrir la señal como modificaciones no deseadas de su forma de onda en el tiempo, distorsiones, y como todas aquellas otras señales no deseadas, y que por lo tanto no aportan información, que acompañan a la señal cuando llega a la Presentación. Se trata de señales que no fueron enviadas desde la Fuente, pero que, por estar presentes dentro de la banda de frecuencias de la señal transmitida y con niveles perceptibles, perturban la recepción de ésta. A este conjunto de señales se les suele agrupar bajo una denominación común de ruido.

Dependiendo de su origen, de su distribución en el espectro y de su forma tenemos diversas clases de ruido, así podemos distinguir entre:

Dependiendo de su origen, de su distribución en el espectro y de su forma tenemos diversas clases de ruido, así podemos distinguir entre:

- Ruido blanco, denominado así por asociación con la luz blanca, que tiene una distribución uniforme de energía en el espectro visible.
- Ruido térmico, también llamado *ruido Johnson*. Distribuido de la misma forma en el espectro útil para telecomunicaciones.

- Ruido impulsivo, constituido por pequeños impulsos de corriente que aparecen de forma esporádica en los circuitos.
- Ruido eléctrico, constituido por señales interferentes originadas en la red eléctrica o por fenómenos atmosféricos como las tormentas.

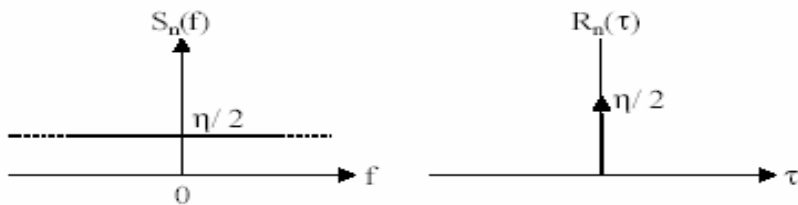
En la planificación de los sistemas de comunicación se suelen emplear unos parámetros para medir la calidad de la transmisión. En los sistemas analógicos, la relación entre la potencia de señal útil y la potencia de ruido $S=N$ es el parámetro que se emplea, Este parámetro se denomina relación señal a ruido. Mientras que en los sistema de transmisión digital, la tasa de bits erróneos, 'Bit Error Ratio, BER' es un indicador mas adecuado. Esta tasa indica una

2.6.1. Ruido blanco

El ruido blanco es una señal aleatoria con densidad espectral de potencia plana (su valor es constante) ver figura 6, esto significa que se tiene igual potencia para cualquier banda de frecuencias. Esta totalmente descorrelacionado, es decir, su valor en dos momentos cualesquiera no está relacionado.

Explicado de otra manera: El ruido blanco se caracteriza por el hecho de que su valor en dos momentos cualesquiera no es correlativo. Esto motiva a este ruido a tener una potencia de densidad de espectro plana (en potencia de señal por hertzio de ancho de banda, y su pérdida análoga a la luz blanca que tiene una potencia de densidad de espectro plana con respecto a la longitud de onda.

Figura 6 Densidad espectral de potencia y auto correlación del ruido blanco



Observamos como la potencia de ruido total es infinita, necesitamos por tanto limitarnos a un ancho de banda finito. En ese caso, la potencia de ruido N , equivale a calcular el área del rectángulo formado por la base (Ancho de banda, BW) y la altura,

2.6.2. Ruido térmico

En telecomunicaciones y otros sistemas electrónicos el ruido térmico (o ruido de Johnson) es el ruido producido por el movimiento de los electrones en los elementos integrantes de los circuitos, tales como conductores, semiconductores, tubos de vacío, etc. Se trata de un *ruido blanco*, es decir, uniformemente distribuido en el espectro de frecuencias.

La densidad de potencia de ruido, expresada en W/Hz, viene dada por:

$$n_0 = k \cdot T$$

Donde:

k = Constante de Boltzmann

T = Temperatura en Kelvin

2.6.3. Ruido eléctrico

Se denomina ruido eléctrico, interferencias o parásitos a todas aquellas señales, de origen eléctrico, no deseadas y que están unidas a la señal principal o útil de manera que la pueden alterar produciendo efectos que pueden ser más o menos perjudiciales.

Cuando la señal principal es una señal analógica el ruido será perjudicial en la medida que lo sea su amplitud respecto a la señal principal.

Cuando las señales son digitales, si el ruido no es capaz de producir un cambio de estado, dicho ruido será irrelevante.

La principal fuente de ruido es la red que suministra la energía eléctrica, y lo es porque alrededor de los conductores se produce un campo magnético a la frecuencia de 50 Hz o 60 Hz. Además por estos conductores se propagan los parásitos o el ruido producido por otros dispositivos eléctricos o electrónicos.

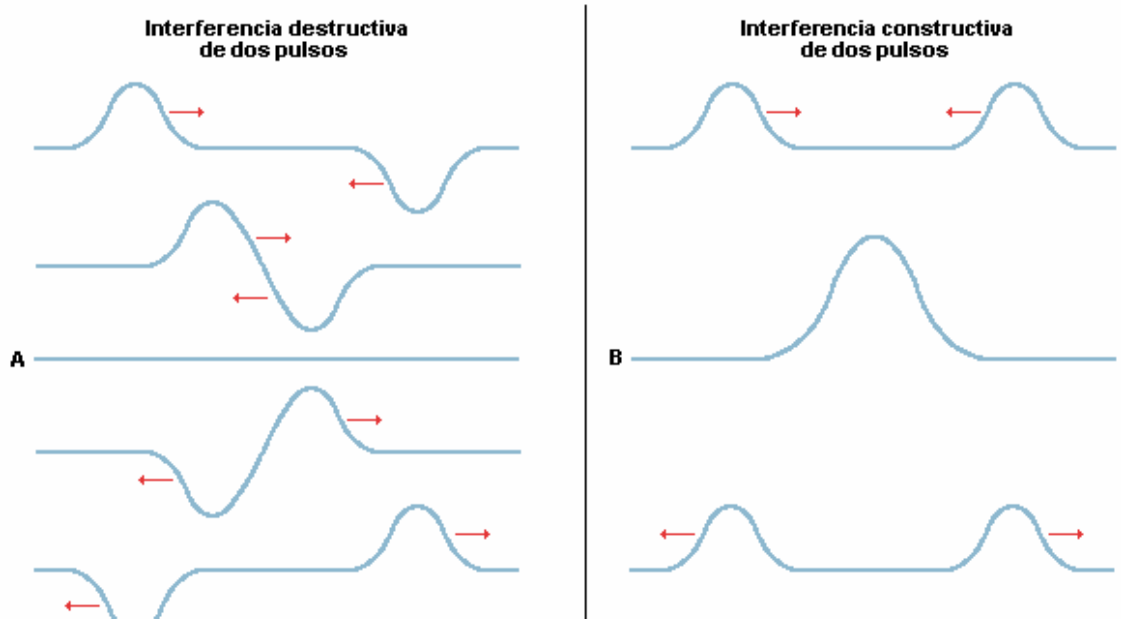
Existen algunas perturbaciones, como el rayo que son capaces de actuar desde una gran distancia del lugar que se produce, por ejemplo al caer sobre una línea de alta tensión.

De todas formas las perturbaciones más perjudiciales son las que se producen dentro o muy cerca de la instalación. Normalmente son picos y oscilaciones de tensión causados por bruscas variaciones de intensidad en el proceso de conexión y desconexión de los dispositivos de mayor consumo.

2.7. Interferencia

Interferencia, efecto que se produce cuando dos o más ondas se solapan o entrecruzan. Cuando las ondas interfieren entre sí, la amplitud de la onda resultante depende de las frecuencias, fases relativas y amplitudes de las ondas iniciales. Por ejemplo, la interferencia constructiva se produce en los puntos en que dos ondas de la misma frecuencia que se solapan o entrecruzan están en fase; es decir, cuando las crestas y los valles de ambas ondas coinciden. En ese caso, las dos ondas se refuerzan mutuamente y forman una onda cuya amplitud es igual a la suma de las amplitudes individuales de las ondas originales, como se muestra en la figura 7b. La interferencia destructiva se produce cuando dos ondas de la misma frecuencia están completamente desfasadas una respecto a la otra; es decir, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra. En este caso, las dos ondas se cancelan mutuamente, como se muestra en la figura 7a. Cuando las ondas que se cruzan o solapan tienen frecuencias diferentes o no están exactamente en fase ni desfasadas, el esquema de interferencia puede ser más complejo.

Figura 7 Interferencia de ondas a) destructiva. b) constructiva



Fuente: <http://www.siste.com.ar/siste.reg>

Las ondas de radio interfieren entre sí cuando rebotan en los edificios de las ciudades, con lo que la señal se distorsiona. Cuando se construye una sala de conciertos hay que tener en cuenta la interferencia entre ondas de sonido, para que una interferencia destructiva no haga que en algunas zonas de la sala no puedan oírse los sonidos emitidos desde el escenario.

3. GESTIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

3.1. Regulación del espectro radioeléctrico

El espectro radio eléctrico es un recurso natural limitado que todos los países pueden disponer por igual, por tanto es fundamental que se utilice de la forma más eficaz posible por todos los usuarios de radiocomunicaciones en todo el mundo. De manera que las diversas redes de radiocomunicaciones puedan funcionar en un entorno radioeléctrico libre de interferencia

Siendo así el espectro radioeléctrico un recurso limitado debido a que solo un servicio específico puede transmitir información en un determinado rango de frecuencias dentro de la misma zona geográfica, intensificándose más debido a que no se puede utilizar todo el rango de frecuencias existentes (de cero a infinito). Teniendo de esta forma un dominio de frecuencias de 9 KHz. hasta 50 GHZ, esto es debido a que en la actualidad no se dispone de la tecnología necesaria para transmitir por arriba de la frecuencia de corte superior mencionada. Esto no impide que experimentalmente se realicen radiaciones electromagnéticas de información en esta banda de frecuencia, por consiguiente la UIT-R planifica provisionalmente las atribuciones de las bandas hasta los 400 Ghz.

A la gran demanda adquirida del espectro radioeléctrico hay que añadir que este no posee las mismas propiedades físicas en todo su rango, debido a que cada banda de frecuencias presenta sus características específicas que

pueden variar o no de otras bandas de frecuencia, esta pueden ser por ejemplo: La atenuación de la señal que puede condicionar la distancia máxima de transmisión de la señal. El ruido que podría ser perjudicial en las diversas bandas, Los desvanecimientos que puedan ocasionar las distintas longitudes de onda interactuando con el medio ambiente, Los tamaños de ancho de banda, que ciertos medios de telecomunicaciones pueden requerir para hacer efectiva su forma de transmisión. Estas características hacen que ciertas bandas sean asignadas a servicios específicos en concreto, debido a que ellos solo pueden ser utilizados bajo estas características, provocando de esta forma que sea aun mas limitado el espectro radioeléctrico y pudiendo provocar de esta forma conflictos de entre servicios distintos de interferencia sobre la misma banda.

La tecnología de Telecomunicaciones avanza a en forma rápida, con la aparición de nuevas tecnologías y el enorme crecimiento de los servicios de radiocomunicaciones, de tal forma las necesidades del espectro de radiofrecuencias están aumentando de forma exponencial. La gestión efectiva y eficaz del espectro es el elemento esencial para garantizar la coexistencia de las diversas redes de radiocomunicaciones sin que se produzcan interferencias entre ellas.

La continua evolución de la tecnología sobre trasmisiones radioeléctricas permite incrementar el número de servicios que pueden utilizar el mismo ancho de banda sobre el espectro radioeléctrico, además permite optimizar el mismo de forma más eficiente.

De tal forma es de suma importancia que exista un ente quien regule, gestione y administre el espectro radiofrecuencias en cada país del mundo, para una utilización eficaz del mismo.

3.1.1. Funciones regulatorias

Las principales Funciones de regulación del espectro radioeléctrico normado por las recomendaciones UIT-R son:

- Política de gestión del espectro
- Planificación del espectro
- Adjudicación de frecuencias y licencias.
- Establecimiento de especificaciones y autorización de equipos
- Control y medición del espectro
- Consultoría y difusión
- Coordinación con organismos internacionales.

3.2. Entidades y leyes regulatorias en Guatemala

3.2.1. Atribuciones del estado

En Guatemala se Crea la Superintendencia de Telecomunicaciones como un organismo eminentemente técnico del Ministerio de Comunicaciones, Transportes y Obras Públicas, considerado de dominio público y regido como administración estatal, ente encargado de regular, gestionar, administrar y comprobar el espectro de radiofrecuencias en Guatemala. Lográndose por medio de la ley general de telecomunicaciones que norma y rige las telecomunicaciones sobre este país.

La SIT como entidad regulatoria de espectro radioeléctrico tiene las siguientes funciones:

- Crear, emitir, reformar y derogar sus disposiciones internas, las que deberán ser refrendadas por el Ministerio.

- Administrar y supervisar la explotación del espectro radioeléctrico.
- Administrar el Registro de Telecomunicaciones.
- Dirimir las controversias entre los operadores surgidas por el acceso a recursos esenciales.
- Elaborar y administrar el Plan Nacional de Numeración.
- Aplicar cuando se procedente, las sanciones contempladas en a presente ley.
- Participar como órgano técnico representativo de país, en coordinación con los órganos competentes, en las reuniones de los organismos internacionales de telecomunicaciones y en las negociaciones de tratados, acuerdos y convenios internacionales en materia de telecomunicaciones.
- Velar por el cumplimiento de la Ley General de Telecomunicaciones y demás disposiciones aplicables.

3.2.2. Ley general de telecomunicaciones

La ley general de telecomunicaciones establece un entorno legal para cualquier actividad de telecomunicaciones desarrollada en Guatemala, normando la utilización del espectro radioeléctrico con el objetivo de promover el desarrollo de telecomunicaciones. Proteger a los usuarios y empresas proveedoras de los servicios de telecomunicaciones y administrar racionalmente el uso eficiente del espectro electromagnético.

Siendo esta aplicada a todos los usuarios y usufructuarios del espectro radioeléctrico, así como a todas las personas que operan y/o comercializan servicios de telecomunicaciones en el territorio nacional.

3.2.3. Condiciones para operación de telecomunicaciones en territorio guatemalteco.

3.2.3.1. Requerimientos de operación

Las compañías operadoras que requieran brindar los servicios de telecomunicaciones en Guatemala deben de cumplir los requerimientos esenciales establecidos por la superintendencia de telecomunicaciones SIT, por medio de su ley general de telecomunicaciones.

La SIT establece y administra el registro de telecomunicaciones, el cual contiene la inscripción de todos los operadores de redes comerciales de telecomunicaciones, titulares de derechos de usufructo del espectro radioeléctrico, usuarios de bandas de reserva estatal y radioaficionados. Este se realiza antes de iniciar operaciones y hacer uso de los respectivos derechos de brindar servicios de transmisión de ondas radioeléctricas para radiar señal.

La Información que contienen dichos registros es de acceso público, por lo que puede ser publicada y por ende toda persona tendrá libre acceso a ella, servirá específicamente para efectos de terceros.

Este registro contendrá la siguiente información:

- ▶ Características técnicas generales de la red que utiliza
- ▶ Ubicación geográfica y características técnicas de las bandas de frecuencia utilizadas.
- ▶ Ubicación geográfica y características técnicas de los sistemas de transmisión utilizados.
- ▶ Números de orden y de registro del título.
- ▶ Fechas de emisión y vencimiento del título.

3.2.3.2. Procedimiento para resolución de conflictos

La superintendencia de telecomunicaciones presenta una prorrogas para que las operadoras en cuestión puedan resolver cada uno de los puntos en discordia, de lo contrario la SIT tomara las atribuciones para poderlos resolver, de acuerdo a los procedimientos descritos en la ley general de telecomunicaciones, para el cual se deben de presentar los argumentos y la documentación técnica de las mismas.

Para realizar el peritaje de resolución de una controversia la SIT contratara los servicios de un perito que esté acreditado para la misma, de una lista que posea. La parte a quien se solicite el recurso esencia, seleccionara tres peritos de esta misma lista, de tal forma que la SIT trasladara a la parte solicitante la nomina de los tres peritos selectos con el propósito que esta seleccione al perito que desarrollara el estudio y efectuara el peritaje.

La SIT norma las causas para que un perito no pueda ser selecto para la realización de estas, siendo estas:

- ▶ Cuando alguno de los peritos o sus parientes sean parte del asunto.
- ▶ Cuando sea socio, accionista o de alguna manera participe con una de las partes.
- ▶ Cuando tenga o haya tenido un año antes de la inclusión en la lista, juicio pendiente con una de las partes.
- ▶ Cuando haya externado opinión sobre el asunto antes de haber sido propuesto.
- ▶ Cuando tenga enemistad conocida con alguna de las partes.

Luego de haberse seleccionado el perito por ambas empresas para desarrollar el estudio y peritaje del conflicto propuesto, la SIT lo contratara y los

honorarios serán pagados por las empresas en cuestión por partes iguales. De existir atrasos con el pago del mismo, la SIT cobrará intereses moratorios de acuerdo a la tasa de interés promedio ponderado para operaciones activas que rija en el mercado bancario guatemalteco.

El perito tendrá un plazo de treinta días para emitir opinión sobre la manera más apropiada de resolver cada uno de los puntos en discordia, no limitándose únicamente a las propuestas establecidas por los operadores de telecomunicaciones, sino que podrá formular propuestas alternativas.

Para los criterios de las resoluciones en presentación del dictamen final la SIT y el perito deberán fundamentarse en aspectos técnicos de los estándares recomendados por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, luego por los estándares aceptados por organismos regionales del sector de telecomunicaciones al que Guatemala sea parte.

Luego de ser entregado el dictamen final del perito con la resolución de cada uno de los puntos en discordia, la SIT resolverá a favor de la propuesta que se aproxime más al dictamen realizado por el perito, no pudiendo optar una postura intermedia.

Los peritos deberán basar sus análisis de costos, principalmente en los siguientes criterios o parámetros:

- ▶ La magnitud de la inversión que, para una empresa de telecomunicaciones eficiente, en un mercado en desarrollo de características comparables al guatemalteco, supone poner en funcionamiento los diversos elementos o recursos a los que terceros interesados demande acceso.

- ▶ El grado de actualidad de la tecnología a la que los terceros interesados demanden acceso.
- ▶ La estructura de costos, márgenes, utilidad razonable y precisa prevalecientes en el mercado.
- ▶ Las características distintivas del mercado interno, tales como los impuestos, tasas, arbitrarios, contribuciones a la seguridad social y demás aspectos analógicos que pueden incidir en el objeto de la negociación.
- ▶ La oferta y demanda potenciales, para los servicios o actividades en cuestión.

3.3. Regulación del espectro radio eléctrico en Guatemala

3.3.1. Espectro radio eléctrico en Guatemala

En Guatemala el uso, aprovechamiento y explotación del espectro radioeléctrico podrá establecerse únicamente por las normas y administración de la SIT y su respectiva ley general de telecomunicaciones, quien a su vez puede denominarlo también con los siguientes nombres: ondas electromagnéticas, ondas de radio o hertzianas y frecuencias radioeléctricas

La clasificación de las bandas de frecuencia del espectro radio eléctrico por medio de la SIT para Guatemala son:

- ▶ Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para radioaficionados, las cuales pueden ser utilizadas por radioaficionados, sin necesidad de obtener título de derechos de usufructo, previo a llenar el registro de telecomunicaciones.

- ▶ Bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico reservadas, estas son designadas para organismos y entidades estatales, corresponde al gobierno y servicios de Guatemala.
- ▶ Bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico reguladas, estas son utilizadas por cualquier operador que brinde el servicio de telecomunicaciones previo a la adquisición del título de derecho de usufructo.

3.3.2. Protección contra radio interferencias en Guatemala

En Guatemala la ley general de telecomunicaciones en su título IV, artículo 53 quien dice literalmente “Las personas individuales o jurídicas que posean títulos de usufructo de frecuencias y que en algún momento sufran interferencias radioeléctricas, podrán denunciarlas a la Superintendencia, proporcionándole un informe técnico emitido por una entidad acreditada por la misma para la supervisión del uso del espectro radioeléctrico. Las disposiciones internas de la Superintendencia determinarán la forma en que se acreditará a las entidades supervisoras del espectro radioeléctrico. La Superintendencia notificará la denuncia al presunto causante de la interferencia, quien en un plazo no mayor de diez (10) días de haber sido notificado, expondrá los hechos y aportará las pruebas que considere oportunas. Entre ellas deberá incluir un informe técnico emitido por una entidad acreditada para la supervisión del uso del espectro radioeléctrico”.

Transcurrido el plazo anterior, la Superintendencia con los informes técnicos respectivos, deberá pronunciarse dentro del plazo de diez (10) días contados a partir de la fecha en que el presunto causante presentó sus pruebas. Si en la resolución que emita la Superintendencia se determina que subsisten o se repiten las violaciones al derecho de uso o usufructo del

espectro, el o los infractores, deberán suspender los hechos que motivan la interferencia y pagar las multas que fije la superintendencia, de acuerdo a lo estipulado en esta ley.

La parte afectada por la interferencia podrá ejercer contra el infractor las acciones judiciales por daños y perjuicios u otros que puedan corresponderle. Lo que la Superintendencia resuelva en cuanto a sanciones se sujetará a los recursos administrativos y judiciales que determina esta ley. Las interferencias de trascendencia internacional, quedarán sujetas a lo establecido en los acuerdos, tratados y convenios internacionales sobre la materia ratificados por el Gobierno de Guatemala.”

3.3.3. Bandas de frecuencia reguladas

3.3.3.1. Títulos de usufructo

En Guatemala cada banda de frecuencia regulada que podrá ser utilizada por un ente operador de telecomunicaciones, será asignada mediante títulos que representen el derecho de usufructo.

Este título establece los derechos por naturaleza para cualquier tipo de transmisión de ondas electromagnéticas que contengan información dentro del ancho de banda asignado, respetando únicamente las bandas de guarda de frontera y la potencia establecida para la transmisión. Esta misma puede ser arrendada y/o enajenada total o parcialmente durante la vigencia de los mismos, para cualquiera de los casos anteriores se realizara el endoso y luego se procederá a la inscripción en el registro de telecomunicaciones llevado por la SIT y normado por la LGT.

En cualquier caso, los titulares de los derechos de usufructo del espectro radioeléctrico serán los responsables directos por el uso y explotación de los mismos, más aun cuando estas presenten violaciones de radio interferencia.

El título que representa el derecho de usufructo, deberá contener lo siguiente:

- ▶ Banda o rango de frecuencias, indicando el horario de operación, área geográfica de operación, potencia máxima de efectiva de radiación y la máxima intensidad de campo eléctrico o potencia máxima admisible en el contorno del área de cobertura.
- ▶ Número de orden y de registro del título.
- ▶ Fecha de emisión y vencimiento del título.
- ▶ Nombre del titular.
- ▶ Espacio en blanco para endosos o razones.

El título de derecho de usufructo tiene un lapso de validez de quince años según lo estipula la LGT, este podrá prorrogarse a solicitud del titular por periodos iguales.

3.3.3.2. Bandas de frecuencia reservadas

Las bandas reservadas para uso exclusivo para operadores de telecomunicaciones que utilizan el espectro radioeléctrico.

Tabla II Bandas de frecuencia reservadas
Administradas por la SIT para Guatemala

3.00	535.00	KHz
1705.00	1800.00	KHz
1900.00	3000.00	Khz.
3.00	3.50	MHz

4.06	4.44	MHz
5.00	5.06	MHz
5.45	5.73	MHz
6.20	6.77	MHz
7.30	9.50	MHz
9.90	10.10	MHz
10.15	11.65	MHz
12.05	14.00	MHz
14.35	18.07	MHz
18.17	21.00	MHz
21.45	24.89	MHz
24.99	28.00	MHz
29.70	42.00	MHz
46.60	47.00	MHz
49.60	50.00	MHz
72.00	76.00	MHz
108.00	121.94	MHz
123.09	128.81	MHz
132.01	138.00	MHz
148.00	150.80	MHz
161.63	161.78	MHz
173.40	174.00	MHz
405.05	406.00	MHz
450.00	451.03	MHz
960.00	1240.00	MHz
1670.00	1850.00	MHz
1990.00	2110.00	MHz
2110.00	2290.00	MHz
2700.00	2900.00	MHz
3.10	3.40	GHz

Fuente: Ley general de Telecomunicaciones

3.3.3.3. Solución de conflictos entre particulares

Los conflictos que surjan entre particulares dentro del área de telecomunicaciones, deberá ser resueltos por las partes implicadas a través de los procedimientos judiciales previstos en las leyes generales de la nación de Guatemala. Existiendo métodos alternativos para la resolución como lo son la

conciliación o el arbitraje, siendo este completamente valido siempre y cuando se realicen los procedimientos resueltos en ellos.

Las multas que sean emitidas para infracciones serán definidas en unidades de multa (UMA) determinadas por la Superintendencia de acuerdo a la resolución evaluada, estas serán efectuadas con la moneda de los Estados Unidos de América, aplicándose la tasa de cambio promedio ponderado tipo vendedor que rijan el mercado bancario guatemalteco.

Se establecen multas predeterminadas que corresponden al rango de 1000 a 10000 UMAs por:

- Usar las bandas de frecuencias para radioaficionados en contra de lo estipulado en la LGT.
- *Causar radio interferencia comprobada*
- Desconectar ilegalmente a otro operador
- No realizar el registro en cualquiera de los casos establecido por la Ley.

Se establecerán multas predeterminadas correspondientes al rango de 10001 a 100000 UMAs por:

- No permitir el acceso a los recursos esenciales de acuerdo con la LGT.
- Utilizar las bandas de frecuencias reguladas o reservadas sin la obtención previa del derecho de usufructo o del derecho de uso respectivamente.
- Cometer cualquiera de las infracciones establecidas anteriormente de forma reincidente.
- Interconectarse a una red de telecomunicaciones, sin la autorización o el consentimiento del operador de la red.
- Alterar los datos necesarios para cobrar debidamente el acceso a recursos esenciales.

La aplicación de cualquier sanción económica establecida por la LGT se hará sin perjuicio de deducir las responsabilidades penales y civiles que pudieran corresponder.

3.4. Regulación del espectro radio eléctrico normado por la UIT

3.4.1. Comprobación técnica del espectro

La gestión del espectro es la combinación de procedimientos administrativos, científicos y técnicos necesarios para garantizar una explotación eficaz del equipo y los servicios de radiocomunicación sin producir interferencia.

La comprobación técnica está íntimamente asociada a la inspección y al obligado cumplimiento, en cuanto que permite la identificación y la medición de la utilización del espectro y las fuentes de interferencia, la verificación de las características técnicas y de explotación correctas de las señales radiadas, y la detección e identificación de los transmisores ilegales, proporcionando datos sobre la eficacia de las políticas de gestión del espectro.

La UIT norma las siguientes tareas del servicio de comprobación técnica basado en su reglamento:

- comprobación técnica de las emisiones en cuanto al cumplimiento de las condiciones de asignación de frecuencia;
- observaciones de las bandas de frecuencias y mediciones de la ocupación de los canales de frecuencia;
- investigación de casos de interferencia;

➤ identificación y suspensión de las emisiones no autorizadas

La inspección de las instalaciones radioeléctricas es un medio efectivo para regular y garantizar una utilización más eficaz del espectro. Un método efectivo consiste en aplicar un programa de muestreo a los transmisores existentes. La muestra se seleccionará aleatoriamente para diferentes servicios.

Cuando se recibe una reclamación en materia de interferencia, la señal interferente puede ser observada para determinar la localización de la señal, el tipo de transmisión y otros parámetros técnicos que puedan ayudar a identificar y localizar la fuente de interferencia. Luego puede explorarse la base de datos de gestión del espectro para determinar si el origen de la interferencia es un transmisor autorizado que está funcionando fuera de los parámetros técnicos que tiene autorizados, o si procede de un operador ilegal.

3.4.2. Tareas de medición y equipo indispensable

Debe escogerse una técnica de medición que permita medir cuantitativamente diversos tipos de modulación de señal de una manera útil. De este modo, un sistema de medición debe ofrecer una diversidad de anchuras de banda, filtros, atenuadores y otros parámetros que puedan seleccionarse individualmente para la señal que se está midiendo. Estas mediciones pueden detectar la presencia de transmisores no autorizados que originan la interferencia o, por ejemplo, detectar la interferencia de intermodulación que resulta de una combinación de transmisores y emisiones espurias no deliberadas. Aunque pueda necesitarse una gran variedad de combinaciones de mediciones de espectro y análisis de ingeniería para resolver algunos tipos de interferencia, los

datos de comprobación técnica del espectro suelen jugar un papel esencial en este proceso.

Las mediciones normadas por la UIT para la comprobación técnica del espectro radioeléctrico han de ser capaces de identificar y localizar las emisiones y de medir sus características esenciales. Las tareas de medición más importantes que ha de poder realizar una estación de comprobación técnica son, como mínimo, las siguientes:

- mediciones de frecuencia;
- mediciones de intensidad de campo o de dfp;
- mediciones radiogoniométricas;
- mediciones de anchura de banda;
- supervisión automática de la ocupación del espectro

En consecuencia, el equipo de medición de una estación de comprobación técnica ha de desempeñar, por lo menos, las funciones de los equipos siguientes (normados por la Recomendación UIT-R SM.1392)

- antenas omnidireccionales;
- antenas directivas;
- receptores;
- radiogoniómetros;
- equipo de medición de frecuencia;
- medidores de intensidad de campo;
- equipo de medición de la anchura de banda;
- equipo de medición de ocupación de canal;
- equipo de registro del espectro de frecuencias;
- analizadores de espectro;

- analizadores de señal vectoriales o analizadores de modulación;
- decodificadores;
- generadores de señal;
- equipo de grabación.

Debe señalarse que el equipo de medición moderno a menudo puede desempeñar más de una función. En general, el equipo de medición deberá abarcar la gama de frecuencias de 9 Khz.-3 GHz. Si se proyecta tener estaciones de comprobación técnica separadas para ondas decamétricas y para ondas métricas/decimétricas, la gama de frecuencias puede dividirse, por ejemplo, en 9 Khz.-30 MHz para las estaciones de comprobación técnica en ondas decamétricas y 20 MHz-3 GHz para las de comprobación técnica en ondas métricas/decimétricas.

3.4.3. Procedimiento para el tratamiento de interferencia

3.4.3.1. Definición de interferencia

La UIT define literalmente en su reglamento de telecomunicaciones como *“interferencia es el efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada”*.

La UIT clasifica la interferencia en las siguientes categorías:

- Interferencia admisible: *“interferencia observada o prevista que satisface los criterios cuantitativos de interferencia y de compartición que figuran en las recomendaciones UIT-R o en acuerdos especiales.”*
- Interferencia aceptada: *“Interferencia de nivel mas elevado que el definido como interferencia admisible, que ha sido acordada entre dos o más administraciones sin perjuicio para otras administraciones.”*
- Interferencia perjudicial: *“Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación.”*

3.4.3.2. Detección de interferencia perjudicial

Puede presentarse una situación de interferencia perjudicial en la que las alinealidades de un receptor radioeléctrico normal originen productos de frecuencia (lo que se llama un canal secundario) que perturben la señal deseada (recibida en el llamado canal principal). Las frecuencias de los canales de recepción secundarios f_s del receptor que sufre interferencia se calculan utilizando la siguiente ecuación (que presenta muchas semejanzas con las ecuaciones de intermodulación):

$$f_s = \begin{cases} \frac{m(f_0 - f_i) \pm f_i}{n} & \text{para la sintonía más baja del oscilador local} \\ \frac{m(f_0 + f_i) \pm f_i}{n} & \text{para la sintonía más alta del oscilador local} \end{cases}$$

Siendo:

f_0 : la frecuencia de sintonía del receptor afectado por la interferencia

f_j : la primera frecuencia intermedia del receptor que sufre interferencia

$m, n = 1, 2 \dots 5$: el número de armónico de la señal y el oscilador del receptor que sufre interferencia, respectivamente.

En algunos casos prácticos, puede utilizarse un dispositivo sencillo, como el osciloscopio, de la manera siguiente: Se coloca un receptor de medición al lado del receptor sometido a interferencia. La salida del receptor de medición se conecta a la entrada vertical del osciloscopio cuyo generador de barrido horizontal es a la vez activado por la salida del receptor que sufre interferencia.

En ausencia de una señal deseada (esperada), y mientras dure la presencia de la interferencia perjudicial (determinada por escuchar la señal procedente de la salida del receptor sometido a interferencia y vigilar la activación de la función de barrido del osciloscopio), el receptor de medición efectúa una búsqueda secuencial de señales radioeléctricas en las proximidades de frecuencias iguales a las calculadas anteriormente para los canales de recepción secundarios y de la frecuencia de sintonía principal del receptor afectado por la interferencia.

El osciloscopio sirve como indicador de correlación en tiempo, dado que su circuito vertical está gobernado por la señal de salida del receptor de medición y los circuitos horizontales son activados por la señal (interferente) que procede de la salida del receptor que sufre interferencia. Si el receptor de medición se sintoniza con la fuente de la interferencia perjudicial, las imágenes de la pantalla del osciloscopio serán suficientemente estables (con funciones de modulación de señales interferentes tanto discretas como continuas). De lo contrario, el

oscilograma será caótico, pues no habrá correlación entre las señales de entrada vertical y de activación.

Por añadidura, si $f_s = f_0$ (o si f_s está próxima a f_0) habrá una situación de interferencia perjudicial en el sentido real de la palabra. En los demás casos, la perturbación será debida a la debilidad del receptor del usuario, que produce señales semejantes a las de intermodulación.

3.4.3.3. Determinación de interferencia

La búsqueda de interferencia puede ser iniciada por cualquiera de los siguientes eventos:

- observación de un transmisor en tal situación por el servicio de comprobación técnica durante sus mediciones rutinarias;
- reclamaciones sobre interferencia;
- otras indicaciones.

Luego de realizar las respectivas mediciones y determinar interferencia, la prioridad concedida al caso dependerá del servicio interferido y del número de dispositivos que sufren la misma. La descripción de la interferencia servirá para decidir sobre las diversas etapas y mediciones requeridas.

Con equipo radiogoniométrico ha de poderse identificar de manera aproximada la localización de la fuente. Dicha localización y otras características como la modulación y la anchura de banda suelen ser suficientes, con ayuda de las bases de datos de asignación de frecuencias, para limitar a un valor relativamente bajo el número de fuentes posibles. Se

telefona después, uno tras otro, a los operadores de las fuentes de interferencia sospechosas y se les pide que desactiven su transmisor durante un corto tiempo. El procedimiento se repite hasta que un cambio en la interferencia o en el espectro identifica claramente la fuente real. Por este método se eliminan las interferencias de la manera más rápida y económica.

Si no puede determinarse el origen de la interferencia de la manera descrita anteriormente, será necesario desplazar vehículos. El trabajo de localización puede consumir mucho tiempo, especialmente si la interferencia es esporádica.

Una vez localizada e identificada la fuente de la emisión interferente, se han de medir las características técnicas responsables de la interferencia para determinar la naturaleza de la misma, es decir, si se trata de interferencia cocanal, interferencia de canal adyacente, intermodulación del receptor o interferencia conducida por la toma de red eléctrica. Durante estas mediciones deberá llevarse un registro exacto del equipo utilizado y los valores medidos a fin de poder comprobar en el paso siguiente si el sistema o dispositivo interferente contraviene en su funcionamiento las condiciones de asignación de frecuencia o supera los valores de umbral. Las normas y recomendaciones contienen especificaciones detalladas de los procedimientos de medición para una extensa gama de parámetros.

Los resultados de la medición deben seguidamente ser comparados con las condiciones de asignación de frecuencia o las normas pertinentes. Dependiendo del resultado, tal vez haya que dejar totalmente fuera de servicio el sistema o dispositivo interferente o modificar su explotación, o bien rectificar dicho sistema o dispositivo, o incluso tenga que aceptarse la interferencia. En

numerosos países el resultado indicará si ha de pagarse una multa u otro tipo de penalización.

La reglamentación nacional, que varía según el país, especificará si la responsabilidad de las actuaciones a emprender corresponde al grupo de medición o a otra entidad perteneciente a la Administración.

Los transmisores que están siendo explotados sin la asignación de frecuencia prescrita son posibles fuentes de interferencia y por consiguiente deben ser retirados del servicio. Es por lo tanto muy importante que el servicio de comprobación técnica recoja pruebas inequívocas que puedan presentarse en juicio para apoyar la reclamación de que el demandado ha efectuado transmisiones ilegítimas. La incautación del equipo durante una transmisión real obviamente constituye una prueba irrefutable. Tal acción, sin embargo, depende de una estrecha coordinación con la policía.

3.4.3.4. Documentación de los casos de interferencia

La documentación no solamente sirve como referencia de las mediciones anteriores sino además suministra los datos que necesita la base de datos utilizada como sistema de información de la gestión. De lo anterior se desprende que la documentación debe comprender los elementos siguientes:

- número de la tarea;
- contenido de la tarea;
- entidad que requiere la tarea u origen de la reclamación sobre interferencia;
- personal dedicado a la tarea;
- fecha(s) y hora(s) en las que se realizó la tarea;

- localizaciones de la medición;
- equipo de medición y antenas utilizadas (debe indicarse el número de serie o el número de inventario para poder determinar si el equipo estaba calibrado cuando fue utilizado);
- valores de ajuste elegidos (atenuadores activados);
- montaje de la medición (en diagrama de bloques, croquis);
- valores medidos (¡con las respectivas unidades!) de frecuencia, anchura de banda, dfp, marcaciones, etc., y observaciones (por ejemplo, distintivos de llamada e infracciones);
- cualesquiera protocolos de medición, diagramas de analizadores de espectro, ficheros de datos, etc.;
- condiciones ambientales que posiblemente afecten la precisión de la medición;
- vehículo(s) utilizado(s).

La firma o las iniciales del autor deberán confirmar la corrección de los datos del parte de trabajo. Dependiendo del tipo de tarea, la documentación deberá también incluir un resumen de las conclusiones, decisiones, acciones ulteriores efectuadas e informes asociados.

4. EQUIPO Y ESTACIONES DE COMPROBACIÓN TÉCNICA

4.1. Estaciones de comprobación técnico

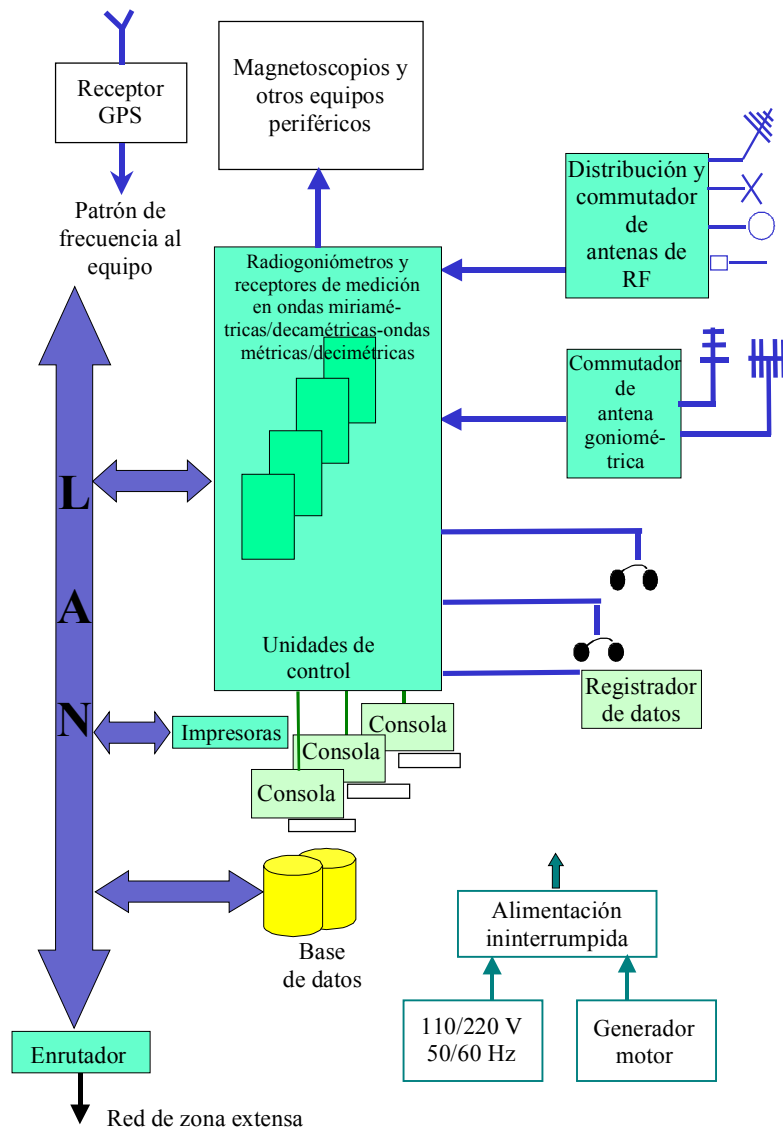
Existen tres tipos de estaciones de comprobación técnica:

- estaciones fijas;
- estaciones móviles;
- estaciones portátiles.

4.1.1 Estaciones de comprobación técnica fijas

Las estaciones de comprobación fijas son el elemento central de un sistema de comprobación técnica. Generalmente permiten realizar todas las mediciones dentro de su zona de cobertura, sin limitaciones tales como insuficiencia del espacio de trabajo, dificultad de erigir las antenas y restricciones en suministro de energía. La Figura 8 presenta el diagrama de bloques de una estación fija de comprobación técnica, que ha de adaptarse a las funciones respectivas de la estación.

Figura 8 Diagrama de bloques de una estación de comprobación técnica fija



GPS: Sistema mundial de posicionamiento
 LAN: Red de área local

Spec-022

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Para determinar el emplazamiento de una estación de comprobación técnica fija hay dos enfoques posibles. Se puede escoger un lugar donde cabe esperar una mínima interferencia de ruido artificial y emisiones radioeléctricas, o bien una zona densamente poblada en la que pueden recibirse gran cantidad de emisiones, incluso emisiones de baja potencia. El primer enfoque es particularmente adecuado para estaciones de comprobación técnica en ondas decamétricas, muy sensibles a las interferencias, y en las que las condiciones de propagación permiten alejarse de los transmisores. La segunda opción es adecuada para las estaciones de comprobación en ondas métricas/decimétricas, ya que las condiciones de propagación no permiten situar tales estaciones lejos de los transmisores. Sin embargo, hay que tener mucho cuidado de no sobrecargar los receptores con señales intensas, procedentes de transmisores de radiodifusión, por ejemplo, creando productos de intermodulación. En la práctica, la diferencia de requisitos obligará a encontrar una solución de compromiso.

4.1.2 Estaciones de comprobación técnica móviles

Las estaciones móviles de comprobación técnica tienen la función de realizar todas aquellas operaciones de supervisión en las que la baja potencia de los transmisores, la gran directividad de las antenas y las especiales características de la propagación imposibilitan que las mediciones sean realizadas por las estaciones fijas.

El diseño de una estación móvil de comprobación técnica varía notablemente según sea su finalidad, alcance y condiciones de explotación. La complejidad del equipo y su correcto funcionamiento, unidos a los problemas de peso y de consumo de energía, hacen que en general se necesite un vehículo

especialmente equipado capaz de desplazamiento rápido. En algunos casos, la unidad móvil debe incorporar equipo portátil adicional para realizar mediciones especializadas en emplazamientos no fácilmente accesibles por el vehículo.

4.1.2.1 Sistemas de navegación y posicionamiento

Al contrario que las estaciones de comprobación técnica fijas, cuya posición permanece invariable, todas las estaciones móviles de comprobación técnica deben estar equipadas con un sistema de posicionamiento/navegación para obtener en todo momento y en cualquier lugar la localización exacta del vehículo. Esto garantizará que pueda identificarse la localización del sistema de pruebas en el momento en que se registran los datos. Además, si la estación móvil de comprobación está equipada con antenas directivas y/o radiogoniómetros, será también necesario conocer la orientación (marcación) del vehículo.

Los sistemas de navegación como el GPS y el sistema mundial de navegación por satélite (GLONASS) no requieren interacción con el operador y pueden utilizarse en vehículos

Para salvar el inconveniente de pérdida de las señales de navegación del satélite, se comercializan sistemas que utilizan una brújula giroscópica y un transductor giratorio acoplado al tren motor del vehículo para obtener la posición del mismo. Puede ser apropiada una combinación de sistemas diferentes.

4.1.2.2 Antenas para estaciones móviles

Los tipos de antena utilizados en los vehículos de comprobación técnica móvil variarán según la frecuencia y la naturaleza de las mediciones a realizar. Deben también adaptarse a las condiciones del tráfico y los requisitos de la instalación.

La limitación que afecta a las antenas de una estación móvil de comprobación concierne al tamaño y al número. Debido a la inevitable falta de espacio, las antenas habrán de ser pequeñas a menos que, como a veces ocurre, se utilicen antenas telescópicas que pueden colocarse en el suelo, cerca del estacionamiento del vehículo.

Pueden utilizarse antenas omnidireccionales, particularmente adecuadas para una exploración general del espectro, pero cuando se necesita mejorar la directividad o la relación señal a ruido, o aumentar la ganancia y por tanto reducir la interferencia en mediciones de intensidad de campo, o en el caso de la radiogoniometría, se utilizan antenas que tienen propiedades directivas más o menos marcadas.

Hay que distinguir entre las antenas directivas, que permiten una tosca determinación de la dirección y las antenas goniométricas especiales, disponibles para las diversas gamas de frecuencias.

Las antenas directivas, sin embargo, deben instalarse de modo que puedan orientarse fácilmente desde el interior del vehículo hacia la dirección de recepción, ya sea a mano o por un motor eléctrico.

La antena se ha de poder elevar hasta una cierta altura sobre el techo para mejorar la sensibilidad, reducir la influencia del vehículo en las mediciones y elevar la antena por encima de obstáculos a la propagación de las ondas. Esto se aplica especialmente a las antenas destinadas a recepción en ondas métricas y decimétricas. La altura máxima a que pueda elevarse la antena será de 8 m como mínimo.

Para evitar complicaciones al efectuar las mediciones de intensidad de campo, es esencial elegir un cable que tenga la impedancia característica correcta y sea del tipo de bajas pérdidas. La atenuación de cada sección del cable a las diversas frecuencias debe ser conocida y admisible.

4.1.2.3 Requisitos para el vehículo de comprobación técnica

El cuerpo del vehículo, sea cual fuere su diseño, debe tener un aislamiento térmico adecuado para asegurar que el equipo interior está en correctas condiciones y las personas están cómodas. Un buen aislamiento térmico servirá por lo general como aislamiento acústico. La calefacción y el acondicionamiento de aire normal del vehículo serán suficientes para el bienestar del conductor, pero deberán equiparse unidades más grandes para los compartimentos del equipo y el personal.

4.1.2.4 Alimentación

Existe una gran variedad de fuentes de alimentación para el equipo de las estaciones móviles. Una estación móvil bien equipada utilizará por lo menos dos fuentes para conseguir redundancia.

Existen en casi todas las categorías equipos modernos de pruebas y comunicaciones analizadores, osciloscopios, receptores, generadores de señal, radiogoniómetros, computadores, etc. que pueden funcionar con alimentación por batería. La mayoría de estos equipos pueden también funcionar dentro de una unidad móvil con alimentación de AC.

La alimentación por baterías o baterías recargables es la única solución para los equipos transportados a mano que han de utilizarse en lugares aislados inaccesibles a los vehículos. Este caso es frecuente cuando se hacen mediciones de intensidad de campo.

Puesto que la mayoría de los equipos electrónicos de medida están diseñados para alimentación directa en AC, procedente de la red a 115 V/60 Hz o 220-230 V/60 Hz, el vehículo debe estar equipado con un generador capaz de suministrar energía con arreglo a estas características.

Una solución consiste en el uso de un convertidor, alimentado por una batería del vehículo. Puede también utilizarse una batería auxiliar de mayor capacidad si se necesita garantizar la autonomía imprescindible. Otra alternativa es la instalación de un motor-generador ya que Las estaciones móviles de comprobación técnica necesitan generalmente un suministro de energía superior a 500 VA, pero esto presenta los inconvenientes comunes a todos los motores que son: el ruido, la tendencia a vibrar y, a veces, sufrir paradas debido a sus propias características de funcionamiento y a los problemas de reparto de masas. Además, el encendido puede causar fácilmente perturbaciones eléctricas si no está equipado con supresores adecuados.

La instalación de un grupo electrógeno en el vehículo exige un cuidado particular para evitar que su ruido llegue a la cabina y sea molesto para los operadores, en detrimento de la precisión de las mediciones. Normalmente va alojado en un compartimiento lateral de la carrocería, enteramente revestido de un material que absorbe el ruido y fijado al mismo por un sistema de suspensión elástico. El acceso al grupo a los efectos de inspección, mantenimiento y arranque se realiza desde el exterior por medio de una ventanilla abatible que debe estar colocada con mucho cuidado para impedir las fugas de ruido. Cuando el grupo electrógeno está destinado solamente a uso intermitente, por ejemplo poner de vez en cuando en marcha la planta de climatización, recargar las baterías durante una larga campaña de mediciones o hacer frente a crestas transitorias de consumo, puede ser aconsejable no instalar el grupo en el vehículo sino elegir un modelo portátil que, si es necesario, pueda instalarse a cierta distancia del vehículo, al que estará unido por un cable de manera que su funcionamiento no cause graves perturbaciones.

Aun cuando una estación móvil de comprobación técnica pueda equiparse con un sistema de alimentación autónomo, siempre es preferible aprovecharse del suministro directo de la red mientras ello sea posible. Esto se llevará a efecto para mantener el eficaz funcionamiento del alumbrado auxiliar y la planta climatizadora, o, desde luego, para recargar las baterías de servicio y las baterías internas de los instrumentos a través de sus respectivos dispositivos cargadores. Evidentemente la conexión a la red reemplaza a los generadores de a bordo, ya que no es posible utilizar ambas fuentes en paralelo. El equipo eléctrico del vehículo debe necesariamente estar diseñado de manera que se impida, por medios mecánicos, conectar ambos sistemas a la vez.

Debe existir un transformador de separación en el vehículo para evitar el inconveniente de tener que conectar a tierra el vehículo y los instrumentos de medida. Cualquier toma de la red debe incluir un buen interruptor automático, ajustado para la máxima corriente que se necesite.

4.1.3 Estaciones de comprobación técnica portátiles

Los instrumentos de medida portátiles completan de manera adecuada los sistemas móviles de comprobación técnica. Su moderado peso permite transportarlos a pie hasta lugares inaccesibles a vehículos, como por ejemplo al interior de un edificio o al tejado de una casa. Estos instrumentos son necesarios para determinar la localización exacta de una interferencia, o para comprobar que el equipo radioeléctrico cumple los parámetros técnicos pertinentes en ese emplazamiento.

Pueden hallarse en el mercado aparatos portátiles aptos para mediciones sobre el terreno en la gama de frecuencias de 150 Khz. a 30 MHz, con antenas de cuadro conectadas directamente a la entrada del receptor. La precisión puede ser mejor que ± 2 dB y el aparato se adapta muy bien a los fines de la comprobación técnica al objeto de comprobar si se está cumpliendo el Reglamento de Radiocomunicaciones. Sin embargo, tiene una sensibilidad inadecuada para operaciones en las que hay que medir intensidades de campo muy débiles, como son las de emisiones no esenciales de un transmisor; en tales operaciones deben utilizarse aparatos de banda estrecha de mayor sensibilidad.

Los aparatos portátiles actuales funcionan entre 20 MHz y 3 GHz o más. Un aparato de este tipo puede ir equipado con una reducida pantalla

panorámica y antenas pequeñas de banda ancha, muy adecuadas para las aplicaciones portátiles. Sin embargo, si hay que efectuar mediciones más sensibles y precisas es imprescindible utilizar un receptor de supervisión más refinado o un analizador de espectro.

4.2. Antenas de comprobación técnica y de medición

4.2.1 Consideraciones generales

La finalidad de las antenas receptoras consiste en extraer del entorno la máxima señal posible que se propaga a través de la atmósfera y aplicar esta señal a la entrada del receptor, garantizando al mismo tiempo una captación mínima de ruido y de señales interferentes. Las características específicas de una antena de comprobación técnica estarán en gran medida determinadas por el tipo de aplicación particular de que se trate. Al escoger una antena de comprobación técnica, es preciso tener en cuenta factores tales como las propiedades de la señal deseada, los parámetros que se proyecta estudiar, las características relativas al emplazamiento en que va a ser instalada y todas las posibles interferencias.

Para obtener la mejor relación posible, la polarización de las antenas debe corresponder a la del frente de onda de la señal recibida, y su impedancia debe adaptarse a la de las líneas de transmisión y circuitos de entrada del receptor a fin de lograr una transferencia máxima de la energía. Los diagramas de recepción omnidireccionales han demostrado su utilidad en la comprobación técnica general o para determinaciones del espectro de radiofrecuencia. En cambio, cuando se trata de observar una señal específica transmitida en una

banda de frecuencias compartida, puede ser conveniente utilizar antenas directivas, que permitan anular una o más de las señales interferentes o reforzar la señal deseada.

4.2.2 Funcionamiento entre aproximadamente 30 Mhz y 3 GHz

Si el emplazamiento se encuentra en una zona metropolitana o en sus proximidades, puede utilizarse un sistema de antena de aplicación general, omnidireccional de ganancia media y polarización vertical y otro con polarización horizontal para la gama de frecuencias considerada.

Podría conseguirse una pequeña mejora de la sensibilidad utilizando un sistema de antenas giratorias log-periódicas de elevada ganancia y polarización cruzada (vertical y horizontal) para la gama de frecuencias requerida. Es por lo general más rentable aumentar la altura de la antena omnidireccional debido a que la cobertura en ondas métricas y decimétricas es de visibilidad directa.

4.2.3 Antenas omnidireccionales para ondas miriamétricas, kilométricas y hectométricas

Cuando las dimensiones del elemento de la antena están limitadas físicamente a una pequeña fracción de la longitud de onda, como sucede en ondas kilométricas y miriamétricas, la antena activa ofrece normalmente una relación señal/ruido muy superior a la que se obtendría conectando la antena directamente al receptor sin utilizar un dispositivo activo para la adaptación de impedancias. Con el fin de evitar fenómenos de intermodulación y de modulación cruzada en los circuitos activos, deben satisfacerse las siguientes condiciones técnicas:

- El factor de antena $20 \log (E/V)$ debe estar comprendido entre 15 dB y 25 dB.
- El punto de interceptación de segundo orden (salida de antena) no debe ser menor que 50 dBm.
- El punto de interceptación de tercer orden (salida de antena) no debe ser menor que 25 dBm.
- La intensidad de campo admisible para modulación cruzada de 10 dB no debe ser menor que 10 V/m.
- El valor máximo eficaz admisible de la intensidad de campo interferente (umbral perjudicial en protección de descarga) no debe ser menor que 20 kV/m a 100 Khz. y 200 kV/m a 10 kHz.

4.2.4 Antenas para ondas métricas, decimétricas y centimétricas

Las condiciones de propagación que se presentan en las bandas de ondas métricas y decimétricas limitan por lo general la recepción a distancias correspondientes a trayectos con visibilidad directa. A fin de aumentar el alcance en recepción, las antenas para estas gamas de frecuencias suelen instalarse en lo alto de una torre situada cerca del local de la estación de comprobación técnica. De esta manera se logran mantener reducidas las pérdidas de la línea coaxial, que adquieren importancia a estas frecuencias.

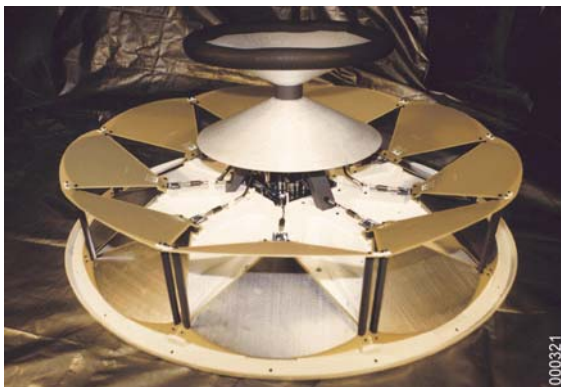
4.2.4.1 Antenas omnidireccionales

Un tipo de antena, que resulta adecuada para su empleo en la gama de ondas métricas y decimétricas es la antena bicónica de banda ancha que se ilustra en la parte superior de la figura 9a. Proporciona muy buena cobertura

omnidireccional en una gama de frecuencias de 150:1. Esta antena puede suministrarse junto con una red en abanico de nueve elementos, que se ilustra en la parte inferior de la Figura 9b, para proporcionar cobertura radiogoniométrica.

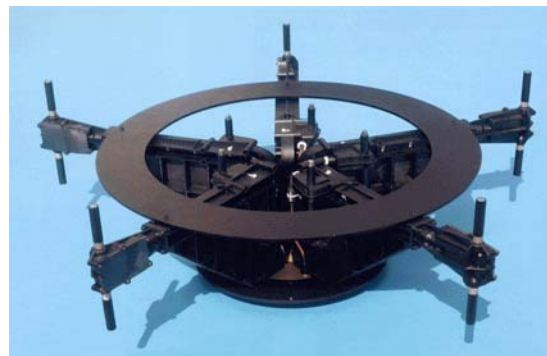
La combinación de la antena bicónica y el abanico de nueve elementos puede utilizarse para la comprobación técnica y la radiogoniometría en toda la gama de ondas métricas/decimétricas, tanto en aplicaciones fijas como móviles; sin embargo, para mejorar la sensibilidad y la precisión en las ubicaciones fijas, puede utilizarse una segunda red físicamente más grande compuesta por una red de dipolos verticales de ondas métricas de cinco elementos, que se ilustra en la Figura 10a.

Figura 9 Elementos de antena de ondas métricas y decimétricas (se ha suprimido el radomo)



($D = 1,3 \text{ m} \times 0,7 \text{ m}$)

a)



($D = 1,1 \text{ m} \times 0,44 \text{ m}$)

b)

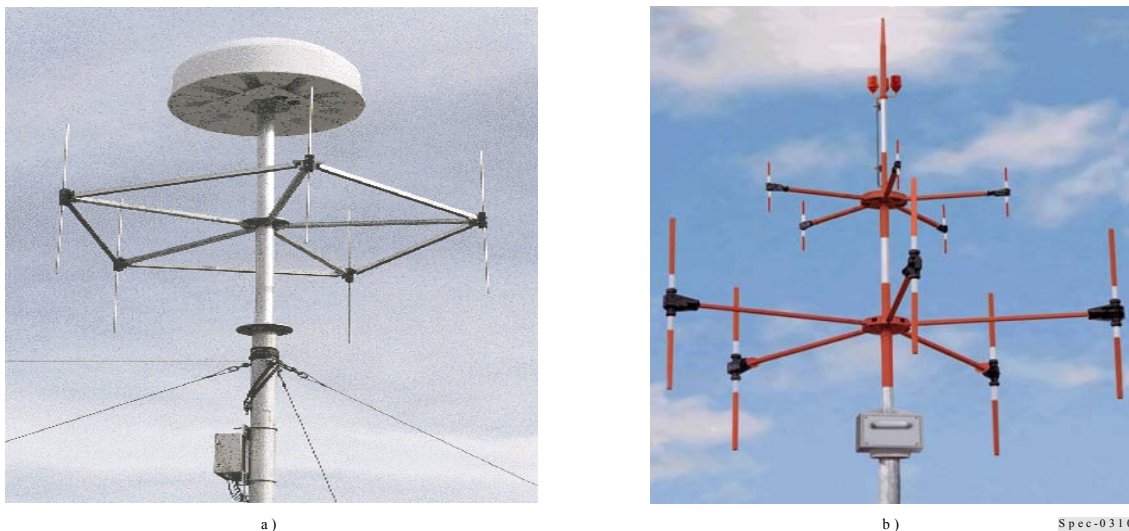
Spec-039

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Para tener una calidad de funcionamiento óptima en aplicaciones que requieren alta gama dinámica (buena sensibilidad y baja recepción), la antena debería utilizar elementos de antena pasivos seguidos por conmutación y

preamplificadores de radiofrecuencia activos. El uso de elementos de antena pasivos asegura que la antena estará libre de respuestas parásitas, teniendo un buen comportamiento de los diagramas y de la respuesta ganancia/fase en cuanto a la precisión radiogoniométrica y no produce distorsión (intermodulación o armónicos), que es un problema común en las antenas de elementos activos.

Figura 10 Antenas fijas de ondas métricas y decimétricas (20-3 000 mhz)



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Sin embargo, las antenas de elementos pasivos adolecen de mala sensibilidad, a menos que sean físicamente grandes y se construyan en múltiples bandas que sean optimizadas para gamas de frecuencias relativamente estrechas, lo cual produciría una estructura de antena compleja difícil de instalar y de mantener. En cambio, si preamplificadores de radiofrecuencia de muy alta gama dinámica y circuitos de conmutación de radiofrecuencia siguen a los elementos pasivos, la antena puede cubrir una amplia gama de frecuencias y ofrecer buena sensibilidad. Esto es posible si

tanto los elementos de antena pasivos y la amplificación de radiofrecuencia activa operan a la misma impedancia, en cuyo caso es posible construir los preamplificadores y conmutadores con muy alta gama dinámica y respuesta de banda ancha.

Los circuitos de conmutación y preamplificación de radiofrecuencia de alta gama dinámica deben instalarse físicamente en la antena para eliminar la necesidad de cableado de radiofrecuencia adaptado en fase entre la antena y el resto del sistema cuando se utiliza para la radiogoniometría, y proporcionar amplificación de línea cerca de la fuente de señal para contrarrestar las pérdidas del cable que en otro caso aumentarían el factor de ruido del sistema, degradando así la sensibilidad. El preamplificador de radiofrecuencia utilizado en la antena debe tener características de calidad de funcionamiento de radiofrecuencia que superen sustancialmente las del receptor al que está conectado, dado que el preamplificador de radiofrecuencia debe manejar el espectro completo de ondas métricas y decimétricas, mientras que el receptor suele tener filtros de preselector que limitan la cantidad de energía de señales de radiofrecuencia que deben manejar los circuitos del paso de entrada de radiofrecuencia del receptor.

4.2.4.2 Antenas direccionales

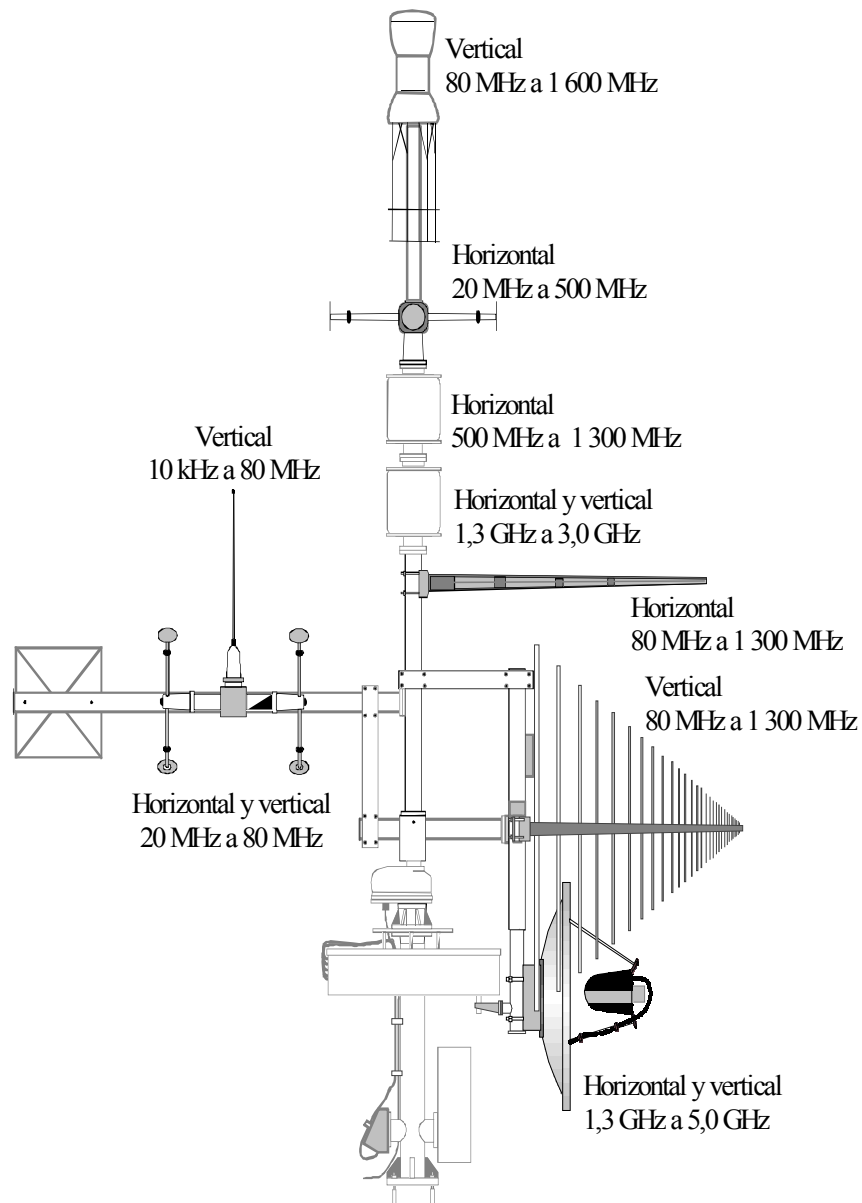
En las bandas de ondas métricas y decimétricas, la necesidad de disponer de antenas con una reducida relación de ondas estacionarias y diagramas uniformes ha conducido a la realización de redes directivas con series de elementos que se repiten periódicamente en función del logaritmo de la frecuencia (por lo que se denominan log-periódicas). Pueden construirse redes de este tipo con una ganancia moderada (de unos 10 dBi por lo general) con buena directividad (relación de radiación delante/atrás de 14 dB por lo general),

y un diagrama que permanece uniforme en una gama de frecuencias de relación entre frecuencias extremas de hasta 10:1. El diagrama de radiación es por lo general amplio, aproximándose al de una antena formada por un dipolo con un elemento reflector y un elemento director, en casi toda la gama de frecuencias. La característica uniforme de la ganancia del diagrama de radiación y de la impedancia de esta antena, hacen que resulte adecuada para combinarse en redes de banda ancha que permiten lograr configuraciones altamente directivas. En especial, la antena log-periódica se presta muy bien a su empleo como iluminador de reflectores para ondas decimétricas cuando se necesita disponer de haces muy estrechos.

Las redes de antenas log-periódicas se construyen por lo general empleando una serie de elementos radiantes alimentados por una línea de transmisión central que al mismo tiempo le sirve de soporte. Los elementos de cada dipolo individual se construyen de manera que ofrezcan, con la mayor uniformidad posible, las características deseadas en una reducida porción de la gama total de frecuencias de trabajo de la antena. Se reproducen estos elementos individuales a intervalos proporcionales al logaritmo de la frecuencia.

En la Figura 11 se muestra un sistema de antena de primera línea y alta calidad de funcionamiento, de comprobación técnica únicamente que incluye una antena con polarización horizontal y vertical, gama omnidireccional y direccional de 10 kHz a 5 GHz. Las antenas omnidireccionales activas así como las directivas están instaladas en un sistema de posicionamiento. Las antenas omnidireccionales activas y pasivas se utilizan en la gama de frecuencias de 10 kHz a 3 GHz. Las antenas log-periódicas y otras antenas directivas cubren la gama de 20 MHz a 5 GHz. Puede seleccionarse entre las distintas antenas mediante un conmutador de radiofrecuencia de control remoto. La señal de radiofrecuencia se lleva al rotor por medio de una junta rotatoria.

Figura 11 Sistema de antena de comprobación técnica de alta calidad de funcionamiento

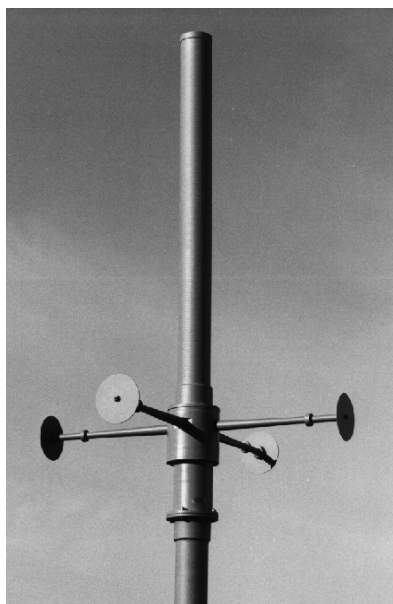


Spec-0311

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La Figura 12 muestra un sistema de antena de banda ancha activa que utiliza dipolos activos como elementos básicos con amplia gama dinámica y alta sensibilidad. La antena vertical es un dipolo activo de alimentación central para la gama de frecuencias 20 a 1 300 MHz con una longitud de 1,2 m solamente y un reducido peso de 3 kg. La antena horizontal cubre la gama de 20 a 500 MHz y es del tipo de torniquete y consta de dos dipolos activos de banda ancha combinados con una híbrida con el fin de proporcionar un diagrama de radiación casi omnidireccional. Estas pequeñas antenas activas son sumamente adecuadas para los sistemas de comprobación técnica en banda ancha, incluyendo la distribución de señal a muchos receptores puesto que el sistema de distribución será mucho más eficiente en términos económicos si utiliza solamente una antena para la gama de frecuencias completa.

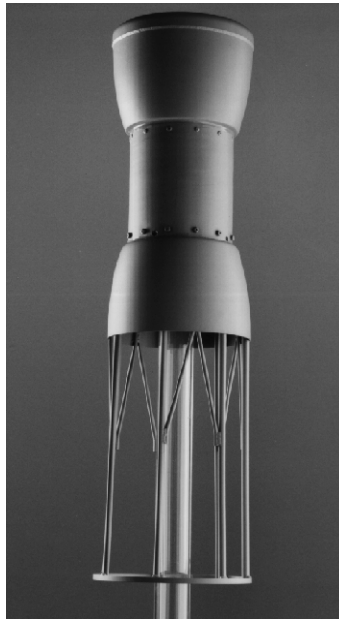
Figura 12 Sistema de antena activa



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La Figura 13 presenta un dipolo en banda ancha para trabajar en ondas métricas y decimétricas cuya gama óptima de funcionamiento es la de 80 a 1 300 MHz. En las frecuencias más bajas la antena de polarización vertical funciona en modo coaxial, mientras que en las elevadas trabaja como un guíaondas omnidireccional.

Figura 13 Dipolo de banda ancha para ondas métricas y decimétricas



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

4.2.5 Antenas para estaciones móviles

Una estación de comprobación técnica móvil ofrece las mismas funciones que una estación fija en un vehículo móvil que puede conducirse de un lugar a otro. Esta configuración proporciona recursos de medición que pueden fácilmente desplazarse para responder a una reclamación concreta u otra

necesidad de comprobación técnica, y que pueda hallarse en el trayecto de propagación con visibilidad directa de una señal de interés.

La principal limitación de las antenas de estaciones móviles de comprobación técnica es su tamaño. Debido a la inevitable falta de espacio, las antenas deben ser pequeñas. Por tanto, el tamaño de antena en el caso de las frecuencias más bajas representa sólo una pequeña fracción de una longitud de onda. Existen antenas de cuadro que cubren la gama de frecuencias de 9 kHz a 30 MHz con o sin material de ferrita, y que debido a sus características eléctricas claramente definidas son particularmente adecuadas para mediciones de intensidad de campo y radiogoniometría de señales de onda de superficie. Para frecuencias comprendidas entre 30 MHz y 3 GHz, existen antenas omnidireccionales de banda amplia para recibir ondas con polarización vertical u horizontal. Gamas de frecuencia típicas son 20 MHz a 1 000 MHz, 200 MHz a 3 000 MHz o 30 MHz a 3 GHz.

Existe una amplia variedad de antenas bidireccionales y de radiogoniometría para frecuencias por encima de 30 MHz, incluidas antenas de banda amplia y antenas Yagi de banda estrecha, dipolos sintonizables, dipolos plegados, antenas bicónicas y antenas log-periódicas. Estas antenas pueden cubrir perfectamente bandas de frecuencia bastante amplias y pueden cumplir todos los requisitos de una estación de comprobación técnica móvil.

La mayoría de las antenas de estaciones móviles están montadas en un vehículo. Sin embargo, las antenas de reflector para frecuencias superiores a 1 000 MHz no suelen estar permanentemente instaladas en un vehículo sino transportarse y desplegarse cuando es necesario mientras el vehículo está detenido, como se muestra en la Figura 14 En todas las gamas de frecuencias

pueden utilizarse antenas activas considerando sus datos técnicos y sus limitaciones, que se indican en la explicación de más arriba relativa a las antenas omnidireccionales. Pueden utilizarse antenas activas transportadas a mano (véase la Figura 15) para fines de comprobación técnica, de medición del campo eléctrico o incluso de radiogoniometría.

Figura 14

Antena de microondas transportable



Figura 15

Antena direccional portátil



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Las estaciones móviles son particularmente importantes para la comprobación técnica a las frecuencias de microondas. Las señales de comunicación de microondas se suelen propagar en haces bien definidos muy estrechos diseñados para la comunicación punto a punto o punto a multipunto. Por tanto, sería muy improbable que una antena fija estuviese situada suficientemente cerca de un trayecto de microondas, para que pudiera interceptar una señal de comunicación de microondas. Debido a su elevado costo y su muy limitado beneficio, no se recomienda instalar un interceptador de microondas en una estación fija; en cambio, este equipo debe estar en un vehículo móvil o en configuración transportable.

4.2.6 Líneas de transmisión

Su impedancia es uniforme siempre que las dimensiones de las distintas partes que la componen, es importante utilizar cables coaxiales con doble trenzado de blindaje o con un conductor exterior resistente.

4.3. Receptores de comprobación técnica

La calidad de funcionamiento de una estación de comprobación técnica guarda relación directa con la calidad del equipo de la estación, incluidas las antenas, los receptores, los radiogoniómetros y los procesadores.

La función del receptor es seleccionar una señal radioeléctrica entre todas las que se reciben en la entrada de la antena a la que está conectada, y reproducir en la salida del receptor la información que transporta dicha señal radioeléctrica. En el pasado, la mayoría de los receptores han utilizado circuitos totalmente analógicos, pero la mayoría de los modernos receptores son digitales, y utilizan técnicas de procesamiento digital de la señal (DSP, *digital signal processing*), para introducir muchas funciones del receptor. A continuación se tratan ambos tipos de receptores. En la tabla III se tratan las especificaciones recomendadas típicas de los receptores para ondas miriámétricas, kilométricas y hectométricas y de los receptores para ondas métricas y decimétricas. Este cuadro se aplica tanto a los receptores analógicos como digitales.

Tabla III Especificaciones recomendadas típicas para los receptores de comprobación técnica

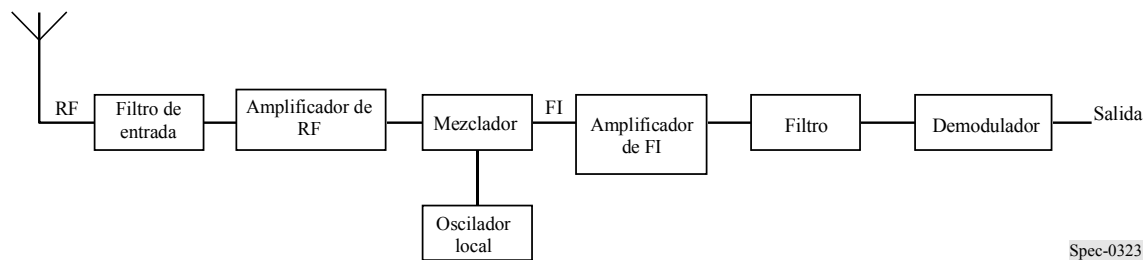
Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Función	Ondas miriamétricas, kilométricas y hectométricas	Ondas métricas y decimétricas
Gama de frecuencias	9 kHz a 30 MHz	20 MHz a 3 000 MHz
Resolución de sintonía	1 Hz	≤ 10 Hz
Error de sintonía Entrada para referencia externa	1 ppm	< 0,1 ppm, usando referencia externa
Tiempo de estabilización del sintetizador	≤ 10 ms	≤ 5 ms
Entrada (entrada de antena) ROE	50 Ω, nominal < 3	50 Ω, nominal < 2,5
Preselección (los receptores altamente lineales pueden cumplir las especificaciones de intermodulación sin preselección)	Conjunto de filtros de banda de suboctava o filtro de seguimiento	Conjunto de filtros de banda de suboctava o filtro de seguimiento
Interceptación de tercer orden	≥ 20 dBm (> 3 MHz)	≥ 10 dBm
Interceptación de segundo orden	≥ 60 dBm (> 3 MHz)	≥ 40 dBm
Factor de ruido	15 dB (> 2 MHz)	12 dB
Ruido de fase del oscilador local (OL)	-120 dBc/Hz en un desplazamiento de 10 kHz	-100 dBc/Hz en un desplazamiento de 10 kHz
Rechazo de FI	80 dB	80 dB
Rechazo de imagen	80 dB	80 dB
Anchuras de banda en FI (-6 dB)	Filtros internos o externos, preferentemente digitales, de 0,1 a al menos 10 kHz	Filtros internos, externos, preferentemente digitales, de 1 kHz a al menos 300 kHz
Selectividad 60 a 6 dB (Factor de forma)	2:1	2:1
Margen de CAG (en los receptores digitales, puede introducirse parcialmente en DSP interno o externo)	-120 dB	-120 dB
Salidas – FI Audio Monitor de FI	Salida FI digital 0 dBm/600 Ω Para monitor de FI externo	Salida FI digital 0 dBm/600 Ω Para monitor de FI externo
Control remoto	LAN Ethernet, o GPIB, o RS-232	LAN Ethernet, o GPIB, o RS-232
Funcionamiento	Control local o remoto; botón de sintonización opcional	Control local o remoto; botón de sintonización opcional
Espectro de FI (puede hacerse en DSP)	Incorporado o externo, procesamiento FFT: renovación ≥ 10/s	Incorporado o externo, procesamiento FFT: renovación ≥ 10/s
Espectro de RF (puede hacerse en DSP)	Incorporado o externo; renovación ≥ 10/s	Incorporado o externo; renovación ≥ 10/s
Imagen del espectro de RF y FI	Por control local o remoto	Por control local o remoto
Compatibilidad electromagnética	CEI 61000-4-2, -3, -4 CISPR 11, grupo 1, clase B	CEI 61000-4-2, -3, -4 CISPR 11, grupo 1, clase B
Humedad relativa	95% sin condensación	95% sin condensación
Vibración	CEI 68-2-6	CEI 68-2-6

4.3.1 Receptores analógicos

En la figura 16 se muestra el diagrama de bloques de un receptor analógico representativo. El filtro de entrada, que es normalmente un banco de filtros preselectores de suboctava, da paso a señales cuya recepción se desea y elimina todas las demás señales fuera de banda, con objeto de impedir las intermodulaciones en el amplificador de alta potencia. Este filtro debe incluir la frecuencia central de la transmisión que ha de recibirse, y tener una banda de paso suficientemente ancha para dejar pasar el espectro de transmisión completo. Otra finalidad del filtro de entrada es la de atenuar la recepción en la frecuencia imagen.

Figura 16 Diagrama de bloques de un receptor analógico



Spec-0323

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

El amplificador de RF determina parcialmente, mediante su ganancia, la sensibilidad del receptor. Pero también tiene otra finalidad muy importante: junto con el filtro de entrada impide que la señal del oscilador local sea conducida a la antena y radiada por ésta, con lo que se generaría una señal radioeléctrica no esencial.

La sensibilidad del receptor está limitada por el ruido que generan sus circuitos de entrada, en particular el amplificador de RF y el mezclador, sensibilidad, de acuerdo con los niveles de ruido medidos. Un receptor con sensibilidad muy elevada tendría un comportamiento deficiente en lo que respecta a la linealidad

Se especificarán o investigarán además otras características como las siguientes:

- anchuras de banda de los filtros de frecuencia intermedia;
- tipos de demodulación necesarios;
- eficacia del control automático de ganancia;
- eficacia del sistema de sintonía automática;
- respuesta de frecuencia de los circuitos que procesan las señales demoduladas;
- precisión y legibilidad de las pantallas;
- variaciones de las características dependiendo de la temperatura.

Se recomiendan receptores que cubran las gamas de frecuencias desde aproximadamente 9 kHz hasta 3 000 MHz. Al seleccionar los receptores deberán tenerse en cuenta los diversos tipos de modulación que han de supervisarse, por ejemplo, MA, CW, BLU, BLI, MDF y MF y se ha de prever la recepción de estas emisiones. Los receptores modernos equipados con controles por microprocesador pueden proporcionar numerosas ventajas de explotación ulteriores.

También se necesita prever la inserción de un atenuador a la entrada del receptor para eliminar las frecuencias espurias producidas por señales de alto

nivel que saturan las etapas de entrada del receptor. Deben asimismo proporcionarse interfaces para control remoto y salida de los datos.

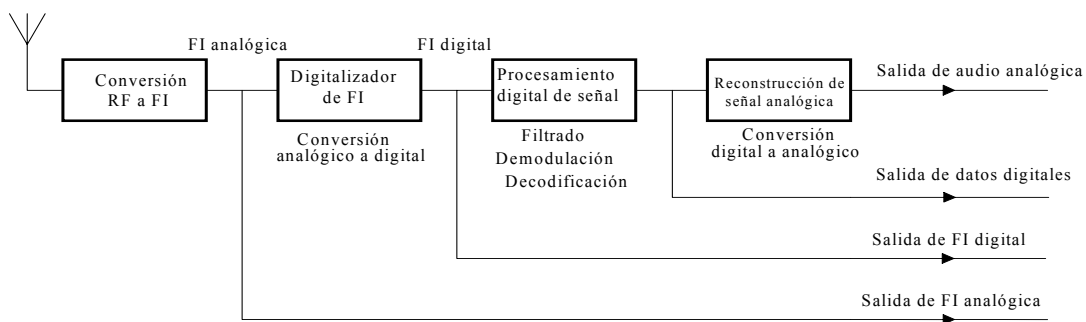
4.3.2 Receptores digitales

Estos ofrecen un comportamiento perfeccionado en lo que respecta a la conversión de frecuencia, filtrado y demodulación, lo que da lugar a una mejor selectividad, estabilidad y control automático de la ganancia.

Estas funciones son muy importantes, sobre todo cuando se intenta clasificar e identificar señales específicas en un entorno congestionado de señales, procesamiento digital pueden sintetizarse filtros que proporcionen unos factores de conformación de un filtrado de corte muy nítido, al tiempo que mantienen una respuesta muy plana en amplitud y lineal en la fase en toda la banda de paso deseada.

En la figura 17 se ilustran los elementos básicos de un receptor digital: el sintonizador de RF, el digitalizador de FI, el procesador de señal y el módulo de reconstrucción de señal analógica.

Figura 17 Elementos básicos de un receptor digital



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

El primer paso importante del tratamiento en un receptor digital es la conversión a formato digital de la señal RF deseada. Este proceso se realiza por la combinación del sintonizador RF y el digitalizador de FI. El sintonizador de RF, que incluye la preselección analógica, traduce la porción deseada del espectro de RF a una banda ancha o de FI previa para el tratamiento por el digitalizador de FI. Este digitalizador utiliza un conversor A/D y otros circuitos para digitalizar la FI procedente del sintonizador de RF. La señal digitalizada resultante se utiliza por el procesador de señal para realizar funciones tales como el filtrado, sintonización fina y demodulación. La salida digital procedente del módulo se ofrece luego para su tratamiento y/o registro posterior. El módulo de reconstrucción de la señal analógica convierte las salidas digitales a analógicas para la supervisión por el operador o el procesamiento ulterior.

El procesamiento de estas diferentes funciones para las diversas señales disponibles, con relación señal/ruido óptima, exige un gran número de anchuras de banda de frecuencia intermedia. Para obtener estas anchuras de banda, los receptores de comprobación técnica necesitan una sección de frecuencia intermedia digital en la que puedan realizarse una amplia variedad de diferentes filtros con ayuda de DSP. Los receptores digitales pueden organizarse por separado, pero a menudo están integrados en el sistema de medición

4.4. Equipo de medición

Sistemas integrados automatizados realizan las mediciones recomendadas por la UIT de frecuencia, intensidad de campo, anchura de banda y modulación, así como las mediciones de ocupación del espectro y de radiogoniometría con equipo de medición integrado.

4.4.1 Equipo de medición de frecuencia

La mayoría de los equipos de medición de frecuencia están concebidos para comparar la frecuencia que ha de medirse con una frecuencia patrón, cuya precisión determina directamente la exactitud de la medición. Se recomienda que este patrón lo proporcione un sistema mundial de posicionamiento. Para esta finalidad puede utilizarse un oscilador convencional con un divisor de frecuencia que sirve de multiplicador, un sintetizador de frecuencia o un generador de armónicos para frecuencias específicas.

Las características esenciales para el equipo de medición de frecuencia son:

- sencillez de funcionamiento;
- frecuencias muy precisas (pasos de 1 Hz) y generador de interpolación ($\pm 0,1$ Hz);
- alta tensión de salida que da la posibilidad de ampliar la gama básica mediante la generación de armónicos, por ejemplo, de 10 kHz a 60 MHz o 2 GHz;
- cristal incorporado (que no debe desconectarse, si es posible) y una precisión de 10^{-9} por día;
- posibilidad de calibrar el cristal a partir de una frecuencia patrón (10^{-11});
- el equipo está transistorizado y por consiguiente es ligero y pequeño, con reducido consumo de energía.

4.4.2 Equipo de medición de intensidad de campo

La medición de la intensidad de campo se basa principalmente en la determinación de la respuesta de una antena de recepción a los campos eléctricos o magnéticos que inciden sobre ella. Dicha respuesta la detecta un receptor conectado a la antena. La respuesta al campo electromagnético debe ser analizada en lo que respecta al comportamiento tanto de la antena como del campo.

Los medidores de intensidad de campo poseen las propiedades siguientes:

- alta estabilidad; debe ser posible medir durante un periodo muy prolongado sin necesidad de recalibraciones frecuentes;
- buena precisión relativa; en la práctica, las mediciones de un campo constante realizadas separadamente por dos operadores deben dar los mismos resultados;
- un extenso margen de medición (desde algunos microvoltios a varios voltios por metro);
- la indicación del aparato medidor debe ser proporcional al valor eficaz de la intensidad de campo.
- un receptor de medición o un analizador de espectro con:
 - circuitos de amplificación y preselección;
 - circuitos de amplificación ante el mezclador principal y filtro de FI (conmutable); son preferibles los filtros con una baja relación de anchuras de banda a 60/6 dB;

- un detector y un indicador, tales como un dispositivo indicador, tal como un medidor analógico o digital, o un conversor A/D con computador y un registrador gráfico;
- una fuente de calibración (por ejemplo, un generador de señal normalizada de onda continua o de seguimiento, un generador de impulsos o un generador de ruido aleatorio), que puede formar también parte del receptor de medición o el analizador de espectro.

Cuando las emisiones que se observan están moduladas, es importante conocer la anchura de banda, la función de estadísticas del detector (es decir, valor medio lineal, valor medio logarítmico, valor de cresta, valor de cuasi cresta o valor cuadrático medio) y la constante de tiempo del medidor, tal como el tiempo invertido en la medición de cada valor en el equipo con el que se mide la intensidad de campo. Generalmente esta información es fácil de obtener en el caso de instrumentos comerciales

La anchura de banda debe ser lo suficientemente amplia como para poder recibir la señal, incluidas las partes esenciales del espectro de modulación. El tipo de detector debe asegurar que se mide la portadora de la señal, si ello es aplicable. En la tabla IV figuran las funciones y anchuras de banda del detector necesarias o recomendadas para los distintos tipos de la señal (se trata de ejemplos):

Tabla IV Funciones y anchuras de banda del detector para los distintos tipos de señal

Tipo de señal	Mínima anchura de banda/kHz	Función del detector
MA con doble banda lateral (DBL)	9 ó 10	Valor medio lineal
MA con banda lateral única (BLU)	2,4	Valor de cresta
Señal de radiodifusión en MF	120	Valor medio lineal (o logarítmico)
Portadora de vídeo	120	Valor de cresta
Señal GSM	300	Valor de cresta en casos de interferencia, valor eficaz cuando se trata de cobertura
Señal UMTS	3 840	
Señal DAB	1 500	
TETRA	30	
Separación de radiocanales con MF de banda estrecha 12,5 kHz 20 kHz 25 kHz	7,5 12 12	Valor medio lineal (o logarítmico) Valor medio lineal (o logarítmico) Valor medio lineal (o logarítmico)

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Estos medidores de intensidad de campo son receptores de medida que incluyen:

- una pantalla de visualización del espectro donde aparece la intensidad de campo medida en función de la frecuencia (análisis en radiofrecuencia);
- un visualizador panorámico (análisis en FI) para la comprobación visual del espectro de radiofrecuencias durante las mediciones de intensidad de campo;
- las anchuras de banda en FI necesarias para la gama de frecuencias;

- todas las funciones del detector y estadísticas necesarias: valor de cresta, valor medio lineal, valor de cuasi cresta y valor eficaz;
- una salida para la conexión de un monitor de televisión para varios sistemas de televesión;
- determinación de la modulación (MA, MF, modulación de fase);
- medición de la frecuencia utilizando el método de cómputo de la señal de FI mediante una referencia de precisión incorporada;
- demoduladores para señales con MA, con MF y de BLU y un altavoz para supervisión auditiva;
- funciones de registro de la ocupación de banda;
- funciones de registro de la ocupación de canal;
- medios necesarios para la conexión de un radiogoniómetro;
- equipo necesario para realizar mediciones móviles de intensidad de campo de forma simultánea en varias frecuencias;
- salidas para el demodulador I/Q para el procesamiento externo de la modulación digital;
- interfaz CEI/IEEE para el control por computador.

4.4.3Equipo de análisis del espectro y de medición de la anchura de banda

Los analizadores de espectro y de los analizadores de señal vector, que tienen amplias gamas dinámicas de la amplitud de señal presentada en la pantalla, han aumentado la importancia de las operaciones de control visual. El análisis espectral permite reconocer y clasificar rápidamente varios tipos de emisiones complejas. La comprobación visual puede elevar la eficacia de las

operaciones de comprobación técnica al definir zonas de actividad que merecen más profundo examen. El servicio a los usuarios del espectro radioeléctrico es más rápido utilizando técnicas de presentación visual para sincronizar la aparición de la interferencia con la actividad de las emisiones que la causan.

Tres grandes categorías de equipos realizan el análisis del espectro radioeléctrico en el dominio de la frecuencia:

- analizadores de banda ancha, que pueden visualizar porciones seleccionadas del espectro con una definición comprendida entre 10 Hz/div y más de 100 MHz/div;
- módulos de presentación panorámica, conectados a las salidas de frecuencia intermedia del receptor, que muestran una parte limitada del espectro en torno de la frecuencia de sintonía del receptor. Ésta, por lo general, no excede de 40% de la frecuencia intermedia en el caso de receptores de tipo corriente.
- receptores panorámicos que pueden presentar (a veces simultáneamente) la gama entera del módulo de sintonización seleccionado o porciones más pequeñas de ella, métodos TRF y de medición de la frecuencia instantánea (IFM).
- en la banda de paso, la característica de frecuencia debe ser plana dentro de +/- 0,5 dB en toda la anchura del espectro de la emisión que ha de medirse;
- la selectividad de frecuencia debe permitir discriminar suficientemente contra el ruido y la interferencia fuera de banda sin introducir en los bordes de la banda de paso una atenuación de más de 2 dB con respecto al nivel en el centro de la banda de paso;

- dadas las posibles variaciones de la intensidad de campo de la emisión, conviene que el equipo presente una buena linealidad para una variación a la entrada de, por lo menos, 60 dB.

Puede utilizarse un analizador de espectro para los fines siguientes:

- análisis de la señal completa (modulación de amplitud, modulación de frecuencia o de impulsos) en función del tiempo y de la frecuencia;
- supervisión de la forma de onda;
- detección e identificación de las señales espurias de modulación de amplitud y modulación de frecuencia;
- medición del tiempo de subida de impulso, anchura de impulso y tasa de repetición de impulsos;
- medición de las características espectrales de las señales de modulación de impulsos;
- aplicación como receptor de onda continua y sensible a impulsos en estudios de propagación, trazado de diagrama de antenas, etc.

La calidad de las mediciones de anchura de banda depende de las siguientes características técnicas del medidor de anchura de banda o analizador de espectro:

- detector y promediación;
- anchura de barrido;
- anchura de banda del filtro;
- precisión de amplitud relativa;
- margen dinámico de amplitud.

Puede utilizarse un analizador de espectro para los fines siguientes:

- análisis de la señal completa (modulación de amplitud, modulación de frecuencia o de impulsos) en función del tiempo y de la frecuencia;
- supervisión de la forma de onda;
- detección e identificación de las señales espurias de modulación de amplitud y modulación de frecuencia;
- medición del tiempo de subida de impulso, anchura de impulso y tasa de repetición de impulsos;
- medición de las características espectrales de las señales de modulación de impulsos;
- aplicación como receptor de onda continua y sensible a impulsos en estudios de propagación, trazado de diagrama de antenas, etc.

La calidad de las mediciones de anchura de banda depende de las siguientes características técnicas del medidor de anchura de banda o analizador de espectro:

- detector y promediación;
- anchura de barrido;
- anchura de banda del filtro;
- precisión de amplitud relativa;
- margen dinámico de amplitud.

Siempre que se emplee un analizador de espectro para la determinación de la anchura de banda debe estar disponible el modo de funcionamiento de «retención de máximos» (conocido también como memoria de crestas). El

equipo debe tener buena linealidad y una gama de visualización suficiente, para variaciones de la tensión de entrada de, al menos, 60 dB.

Para medir las emisiones de banda estrecha, se requiere un analizador de espectro de gran resolución que permita obtener una representación precisa de la distribución espectral de la emisión. Un aparato típico tiene como una resolución máxima de 10 Hz, siendo posible ajustar la gama de frecuencias exploradas y la velocidad de barrido entre 1 y 100 kHz y entre 1 y 30 barridos por segundo, respectivamente.

Para el estudio de las emisiones de banda ancha, se dispone de analizadores de espectro con un receptor completo incorporado, así como otros destinados a ser utilizados con receptores de uso general. Los aparatos disponibles incluyen una gama de frecuencias de hasta 44 GHz, con una anchura del barrido variable de manera continua de hasta 100 MHz (en las frecuencias más elevadas). La velocidad de barrido es ajustable entre 1 y 60 barridos por segundo.

4.4.4 Equipo para la comprobación técnica automática de la ocupación del espectro

Se realizan las mediciones automáticamente durante cierto periodo de tiempo. Los métodos automáticos permiten registrar la frecuencia de una emisión, el tiempo de ocupación, la intensidad de campo, la anchura de banda y si se requiere la relación señal/ruido o la relación señal a interferencia. La comprobación automática proporciona un método rápido de investigar el grado de ocupación del espectro. Por lo general, las observaciones automáticas se realizan con ayuda de un registrador de barrido de frecuencia o un receptor de

exploración automática. Para determinar la ocupación de cualquier banda dada del espectro de radiofrecuencias debe variarse la sintonía de un receptor periódica y progresivamente, de tal manera que se reciban una tras otra todas las frecuencias en la banda pertinente.

. Siempre que se reciba una señal durante esta exploración, será amplificada y aparecerá a la salida del receptor, bien como señal de radiofrecuencia anterior a la detección o señal posterior a la detección. Dicha señal se registra por medio de un registrador de barrido de frecuencia. un analizador de frecuencia/amplitud con medios de registro de barrido. Este dispositivo permite realizar observaciones automáticas de los parámetros más esenciales, como la frecuencia, clase de emisión, anchura de banda y relación señal a interferencia. Además, el dispositivo puede utilizarse tanto para barridos de una banda amplia como para escudriñar una banda estrecha de frecuencias.

4.4.5 Equipo de medición de la modulación

Los receptores necesarios para realizar la demodulación y la medición de las señales con MDP- n , la MAQ y otros esquemas de tipo vectorial se caracterizan por la alta calidad de los conversores reductores cuya amplitud de FI y respuesta al retardo de grupo no degradan la señal medida. El conversor reductor o el receptor va seguido por un VSA para realizar el análisis de la modulación digital. Un VSA acondiciona las anchuras de banda de FI finales, utilizando DSP para obtener respuestas paso de banda de FI estables y de alta calidad. Además, modificando los coeficientes DSP pueden sintetizarse toda una gama de filtros de receptor para lograr una cobertura versátil de una diversidad de tipos de modulación.

Tras ajustar la frecuencia portadora deseada, el tipo de modulación y la velocidad del símbolo, el DSP utilizado en el VSA también lleva a cabo la demodulación. Además de presentar la señal modulada, el analizador vectorial de señal también ofrece mediciones de los errores en la modulación digital. Esto se consigue demodulando la señal y generando una señal de referencia ideal; posteriormente se comparan ambas señales para generar la medición de error. Para comprobar la calidad de modulación de las emisiones radiadas, el trayecto de transmisión puede ser el elemento dominante cuando se miden los factores de calidad de modulación. La propagación multitrayecto u otro tipo de interferencia cocanal pueden hacer muy discutibles, o incluso inútiles los resultados de la medición de calidad de modulación.

4.5. Mantenimiento, calibración y reparaciones

Una adecuada información sobre la precisión de una medición requiere conocer los factores de incertidumbre que entrañan los métodos de medición aplicados. La precisión exigida se basa en las normas nacionales e internacionales y/o en las especificadas por las administraciones responsables. El equipo de la medición está sometido durante su empleo a un gran número de factores que afectan sus parámetros técnicos, y con el tiempo cambian los valores especificados. Por tanto es esencial realizar con regularidad el examen, mantenimiento y calibración del equipo de medición. Si dicho equipo no se mantiene regularmente, crecerá el riesgo de mediciones erróneas y de averías. En cuanto los valores medidos caigan fuera de las tolerancias admisibles, habrá que retirar del servicio cuanto antes el equipo de medición y llevarlo a reparar.

Cuando se pone en servicio un elemento del equipo debe abrirse inmediatamente un fichero que comprenda todos los documentos relativos a su

compra, garantía, mantenimiento, calibración y reparaciones. Este fichero deberá estar vinculado al equipo por medio de una referencia única, como el número de serie o de inventario. Todas las calibraciones y reparaciones efectuadas en cada elemento del equipo deberán quedar registradas en los ficheros con miras a crear una historia de esos elementos durante su vida útil. Al equipo se le adjuntará una etiqueta que indique claramente su referencia exclusiva, así como la fecha de calibración, el número del certificado expedido al respecto y la fecha de la calibración siguiente.

Con el fin de garantizar la calidad del equipo de medición y su cumplimiento de los requisitos de precisión, se recomienda un sistema de varias etapas que comprenda las verificaciones siguientes:

- prueba funcional básica antes y después de cada medición;
- pruebas funcionales intensificadas a intervalos regulares;
- mantenimiento periódico por personal especialmente capacitado;
- calibración también con periodicidad fija.

Elemento esencial de tal sistema de calidad son el plan de actividades y los intervalos que han de establecerse para las pruebas en cada etapa individual. En esos planes se incluirán los datos del equipo de medición, los parámetros técnicos a probar junto con sus valores nominales y tolerancias, y una lista de verificación con instrucciones para la realización de las pruebas. Tanto el plan como las instrucciones de las pruebas, la lista de componentes de los sistemas de medición y los informes de las pruebas, forman parte del manual de pruebas perteneciente a cada equipo o sistema de medición. La fecha de la prueba y el nombre del probador deberán exponerse con claridad.

Con miras al aseguramiento de la calidad, deberá designarse un miembro de la plantilla como responsable de la calidad, que en particular tendrá los siguientes cometidos:

- mantener al día un manual en el que se definan los procedimientos de mantenimiento y calibración;
- garantizar que se han preparado y entregado a tiempo los planes de pruebas y mantenimiento para cada elemento del equipo de medición;
- vigilar el cumplimiento de los plazos límite marcados para las actividades de pruebas, mantenimiento y calibración.

4.5.1 Pruebas funcionales básicas

La prueba funcional básica guarda relación directa con cada tarea de medición específica y la realiza el propio personal encargado de la medición o serie de mediciones, al principio y al final de las mismas. Solamente se verifican aquellos parámetros técnicos que atañen a la medición de que se trate. Por ejemplo, antes de medir una intensidad de campo hay que verificar cómo funciona el equipo utilizado para detectar y presentar los valores medidos con respecto a la frecuencia en que se mide. La documentación de la prueba funcional forma parte del informe de medición

4.5.2 Pruebas funcionales intensificadas

La prueba funcional intensificada la realiza el personal de medición a intervalos prefijados. No está directamente relacionada con las tareas específicas de la medición, y el intervalo transcurrido entre pruebas sucesivas suele ser de uno a tres meses. Una vez más, la base de esta prueba funcional

es un plan que comprende valores nominales y tolerancias admisibles de las magnitudes a medir, así como instrucciones para realizar la prueba propiamente dicha. A diferencia de la prueba básica, esta prueba funcional intensificada abarca todo el margen operativo del equipo o sistema de medición.

En la medida posible, deberán agruparse varios elementos del equipo de medición para formar un sistema susceptible de prueba colectiva. De ese modo, la prueba intensificada puede abarcar el equipo de un centro de prueba entero o de un vehículo de comprobación técnica.

Las verificaciones han de documentarse en un informe de pruebas que contenga datos del valor nominal, la tolerancia admisible y el valor (real) medido de cada parámetro que ha de probarse.

4.5.3 Mantenimiento

Normalmente el mantenimiento del equipo de medición corre a cargo de un departamento técnico que presta apoyo al servicio de comprobación técnica. Las actividades implicadas suelen realizarse en un taller especialmente habilitado y no en el centro de pruebas ni en el vehículo.

El trabajo de mantenimiento difiere de las pruebas funcionales en que es considerablemente más completo y exhaustivo. El contenido de los planes de mantenimiento generalmente se corresponde con las especificaciones del equipo de medición entregadas por su fabricante.

También aquí se requiere un plan de mantenimiento para cada equipo o sistema de medición, en el que se establezcan los parámetros técnicos a verificar, junto con sus valores nominales y tolerancias, así como las instrucciones de mantenimiento e intervalos aplicables. El trabajo de mantenimiento realizado se documenta en un oportuno informe. El intervalo típico utilizado para el mantenimiento va de tres meses a un año.

4.5.4 Calibración

Con el fin de garantizar constantemente la precisión absoluta de los parámetros técnicos de las antenas y del equipo de medición con arreglo a sus especificaciones, se necesita volver a calibrar el equipo a intervalos regulares. Un equipo calibrado garantiza que el valor medido está dentro del margen de incertidumbre especificado con respecto al valor real. La incertidumbre de la medición puede definirse provisionalmente como aquella parte de la expresión cualitativa del resultado de la medición que señala el margen de valores dentro del cual debe estar situado el valor real. Los límites de dicho margen deben asociarse a una probabilidad determinada. Por ejemplo, el resultado de una medición de intensidad de campo podría expresarse en $30 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \pm 2,5 \text{ dB}$ (con una confianza del 95%), es decir que se puede estar seguro al 95% de que el valor de la intensidad de campo está comprendido entre 27,5 y 32,5 $\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$.

Al contrario que en las pruebas funcionales y de mantenimiento, la calibración halla la correspondencia de parámetros técnicos como la frecuencia, el nivel de señal y la potencia con los patrones nacionales e internacionales, a

través de una cadena continua de comparaciones con una precisión definida absoluta.

Sólo pueden utilizarse patrones de referencia para las calibraciones. Las autoridades nacionales o internacionales responsables de calibración, o sus organismos subordinados, son quienes preferiblemente calibran dichos patrones. Cuando esto no sea posible, el laboratorio de calibración competente debe declarar su procedimiento por escrito para poder establecer correspondencias.

Deben aplicarse procedimientos físicos/matemáticos a patrones que no puedan hacerse corresponder directamente con patrones nacionales o internacionales. La correspondencia es posible porque existe una relación fija entre cada uno de los patrones de la jerarquía de calibración y el patrón nacional.

4.5.5 Reparaciones

No pueden prevenirse fallos del equipo de medición debidos a defectos técnicos o a la desviación respecto de las tolerancias admisibles. Con miras a garantizar unas operaciones de medición sin alteraciones, debe organizarse un servicio de reparaciones que sea capaz de reaccionar con rapidez y sustituir los elementos afectados. En todo caso, el personal técnico responsable de instalar y mantener el equipo forma parte vital de todo servicio de comprobación radioeléctrica.

5. MEDICIONES

5.2. Consideraciones prácticas sobre las mediciones

Las señales recibidas en una estación de comprobación técnica pueden caracterizarse en el dominio del tiempo, de la frecuencia o de la fase. La ventaja de introducir los tres dominios radica en el cambio de perspectiva que ello supone.

La representación en el dominio de la frecuencia es especialmente adecuada para observar la ocupación del canal, la interferencia, los productos armónicos y las emisiones no esenciales. Además, la visualización del espectro característico de las distintas modulaciones (por ejemplo, MDF, MDP, DAB, etc.) permite identificar en ocasiones el tipo de modulación. La representación en el dominio del tiempo ayuda a entender la dependencia con el tiempo de la amplitud de las señales y a fijar el tiempo de medición necesario

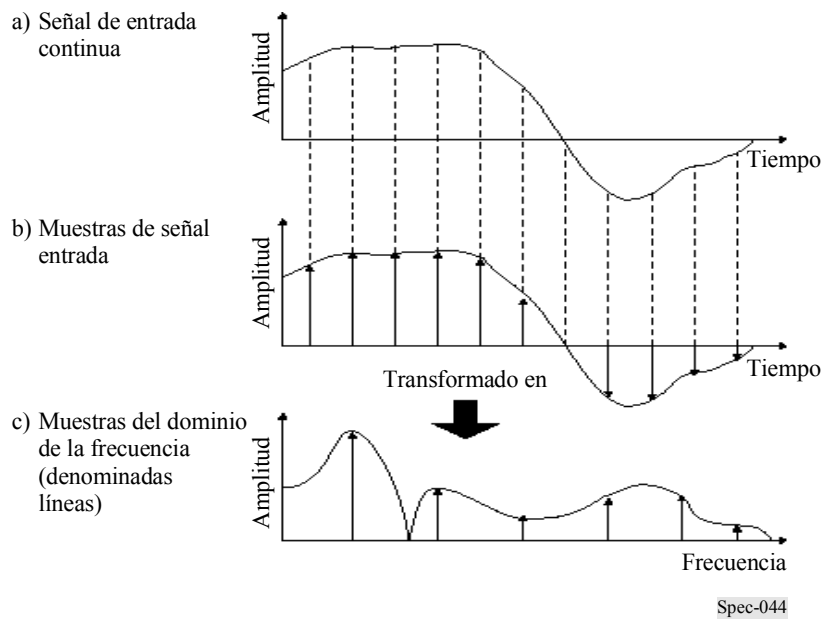
5.2.2. Análisis de la transformada rápida de Fourier (TRF)

La transformada rápida de Fourier (TRF, *Fast Fourier Transform*) es un algoritmo para transformar datos del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia.

La utilización generalizada de microprocesadores permite que sea fácil y barato disponer de toda la potencia de cálculo necesaria en un instrumento de

medición de reducidas dimensiones. Debe señalarse, sin embargo, que actualmente no puede realizarse la transformación al dominio de la frecuencia de forma continua, sino que debe realizarse un muestreo y digitalización de la señal de entrada en el dominio del tiempo. Ello significa que el algoritmo utilizado transforma muestras digitalizadas tomadas del dominio del tiempo en muestras del dominio de la frecuencia tal como aparece en la Figura 18.

Figura 18 Transformación de muestras digitalizadas del dominio del tiempo en muestras en el dominio de la frecuencia



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Una representación basada en muestras puede ser tan próxima a la representación ideal como se desee, si se consigue que las muestras estén muy próximas unas a otras. Son necesarias todas las muestras del registro temporal para calcular todas y cada una de las líneas en el dominio de la frecuencia.

La aplicación de este método consiste en capturar y digitalizar la señal de banda limitada en la etapa de FI de un receptor que dispone de un convertidor A/D y aplicar las muestras a un sistema DSP que realice los cálculos necesarios. La frecuencia de muestreo y el tiempo de captura tienen un efecto fundamental en los resultados obtenidos

5.2.3. Incertidumbre de la medición

Cada resultado de medición debe ir acompañado de una declaración del grado de incertidumbre. La incertidumbre de la medición debe ser determinada por la estación de comprobación técnica para cada tipo de medición y debe tenerse en cuenta cuando se determine el cumplimiento o no cumplimiento de un límite reglamentario. Los límites reglamentarios definen valores máximos de desplazamiento de frecuencia, de potencia radiada efectiva y anchura de banda ocupada. Si se conociese el valor verdadero, el error podría expresarse como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. Cuanta menor sea la incertidumbre, mayor será la precisión, lo cual es, sin embargo, difícil de cuantificar.

Los Valores que influyen en la medición de frecuencia son:

- oscilador de referencia,
- procedimiento de medida,
- resolución de la lectura,
- estabilidad de la señal a medir,
- tiempo de la medida en relación con la señal a medir.

Los Valores que influyen en la medición de la intensidad de campo y la densidad de flujo de potencia son:

- lectura del receptor,
- atenuación de la conexión entre antena y receptor,
- factor de antena,
- precisión de la tensión sinusoidal en el receptor,
- selectividad del receptor en relación con la anchura de banda ocupada;
- nivel mínimo de ruido del receptor,
- efectos de la desadaptación entre el puerto de la antena y el receptor,
- interpolación de frecuencia del factor de antena,
- variación del factor de antena con la altura sobre el terreno y otros efectos del acoplamiento mutuo,
- directividad de la antena,
- respuesta de la antena a la polarización cruzada,
- equilibrio de la antena,
- sombra y reflexiones debidos a obstáculos.

Los Valores que influyen en la medición de la anchura de banda ocupada son:

- principio de la medición (TRF o análisis de barrido espectral),
- anchura de banda de resolución,
- no linealidad de la visualización de la amplitud,
- comportamiento temporal de la señal,
- procedimiento de las mediciones (por ejemplo, para señales AMDT),
- lectura del receptor/analizador.

Tabla V Valores de entrada para frecuencias desde 30 MHz a 3000 MHz.

Cantidad de entrada	Nota	X_j	Incertidumbre de x_j		$u(x_j)$ (dB)	c_i	$(c_i u(x_j))^2$ (dB)
			(dB)	Pr Dist; k			
Lectura de receptor	(1)	V_r	$\pm 0,1$	$k \approx 1$	0,10	1	0,01
Atenuación: antena-receptor	(2)	L_c	$\pm 0,1$	$k \approx 2$	0,05	1	0,0025
Factor de antena	(3)	AF	$\pm 2,0$	$k \approx 2$	1,00	1	1,00
Correcciones del receptor:							
Tensión señal sinusoidal	(4)	δV_{sw}	$\pm 1,0$	$k \approx 2$	0,5	1	0,25
Selectividad del receptor	(5)	δV_{sel}	-0,5	Rectangular	0,28	1	0,0784
Proximidad al umbral de ruido	(6)	δV_{nf}	$\pm 0,5$	$k \approx 2$	0,25	1	0,0625
Desadaptación: antena-receptor	(7)	δM	0,9/-1,0	Forma de U	0,67	1	0,4489
Correcciones del factor de antena:							
Interpolación de frecuencia del AF	(8)	δAF_f	$\pm 0,3$	Rectangular	0,17	1	0,0289
Desviaciones de la altura del AF	(9)	δAF_h	$\pm 0,5$	Rectangular	0,29	1	0,0841
Diferencia de directividad	(10)	δA_{dir}	$\pm 0,5$	Rectangular	0,29	1	0,0841
Polarización cruzada	(11)	δA_c	$\pm 0,9$	Rectangular	0,52	1	0,2704
Equilibrio	(12)	δA_{bal}	$\pm 0,3$	Rectangular	0,17	1	0,0289
Suma parcial							2,3487
Sombra y reflexiones:							

Sombra	(13)	δSR_1	$\square 1,0$	Rectangular	0,56	1	0,3136
Reflexiones	(14)	δSR_2	$\square 4,0$	Triangular	1,63	1	2,6569
suma total							5,3192
Por tanto: $2 u_c(E) \square 4,61$ dB (incluidos efectos de sombra y reflexiones) $2 u_c(E) \square 3,06$ dB (excluidos efectos de sombra y reflexiones)							

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La incertidumbre de E se calcula a partir de las incertidumbres de los términos encontrados en la tabla anterior y sumando dichos valores como se muestra en la siguiente ecuación.

$$E = V_r + L_c + AF + \delta V_{sw} + \delta V_{sel} + \delta V_{nf} + \delta M + \delta AF_f + \delta AF_h + \delta A_{dir} + \delta A_{cp} + \delta A_{bal} + \delta SR$$

5.3. Medición de frecuencias

5.2.1. Consideraciones generales

Para la realización de la medición de frecuencia y su obtención de resultados absolutamente fidedignos, los receptores deben tener las siguientes características:

- elevada sensibilidad a la entrada;
- atenuación satisfactoria de la frecuencia imagen;
- niveles bajos de modulación cruzada e intermodulación;
- filtros de entrada (preselectores) adecuados a fin de proteger la banda de frecuencias utilizada para la medición contra las frecuencias interferentes;
- una entrada normalizada para la frecuencia externa;
- bajo ruido de fase de los osciladores internos;

- control manual o automático de ganancia;
- salida de FI para mediciones adicionales.

La portadora o portadoras internas utilizadas en el mezclador o mezcladores del receptor deben obtenerse de una frecuencia patrón. Los generadores de señal externos o internos para realizar mediciones de frecuencia deben tener las siguientes características:

- la frecuencia debe sintetizarse a partir de un patrón de frecuencias;
- el patrón de frecuencia interno debe tener un error inferior a 1×10^{-7} para la propia frecuencia y todos los pasos de frecuencia;
- el paso más pequeño debe ser de 1 Hz o menos;
- debe existir una entrada de patrón de frecuencias externo para 1, 5 ó 10 MHz;
- debe ser posible mantener en reserva el patrón de frecuencias interno;
- la gama de frecuencias debe cubrir el margen de frecuencias que va a medirse;
- los armónicos deben atenuarse al menos 30 dB;
- las señales que no son armónicos deben atenuarse al menos 80 dB;
- el ruido de fase debe ser bajo (menos de -100 dBc/Hz a un desplazamiento de 10 kHz de la portadora);
- la tensión de salida debe ser variable entre 1 mV y 1 V a través de una resistencia de 50 Ω .

Las mediciones de frecuencia significan normalmente establecer una comparación entre una frecuencia desconocida y una frecuencia conocida (frecuencia de referencia). En base a este proceso comparativo, se aplican los

métodos de medición de frecuencia siguientes en las estaciones de comprobación técnica

Métodos convencionales:

- Método de la frecuencia de batido (BF, *Beat Frequency*)
- Método de la desviación de frecuencia (OF, *Offset Frequency*)
- Método de Lissajous directo (DL, *Direct Lissajous*)
- Método del contador de frecuencia (FC, *Frequency Counter*)
- Método del discriminador de frecuencia (FD, *Frequency Discriminator*)
- Método del registro de fase (PR, *Phase Recording*)
- Método del analizador de barrido de espectro (SSA, *Swept Spectrum Analyser*).

Los siguientes son métodos basados en DSP:

- Método IFM
- Método FFT

En la tabla VI se muestran los métodos para la medición de frecuencia y sus respectivas aplicaciones.

Tabla VI Métodos de medición de frecuencia

	B	F	O	DL	FC	FD	PR	SSA	IFM	FFT
Portadora continua (N0N)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Telegrafía Morse (A1x)	X	X	X		X			X	X	X
Telegrafía Morse (A2x; H2x)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Radiotelegrafía (F1B; F7B)	X	X	X		X			X	X	X
Facsímil (F1C)	X	X	X		X			X	X	X
Difusión y radiotelefonía (A3E)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Difusión y radiotelefonía (H3E; R3E;B3E)	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Difusión y radiotelefonía (F3E)				X	X			X	X	X
Radiotelefonía (J3E)								X		X
Difusión digital (COFDM)								X		X
Difusión de televisión analógica (C3F)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Retransmisión de radio MDF (F8E)				X				X	X	X
Señales de radares de impulsos					X			X	X	X
Sistemas telefónicos inalámbricos								X	X	X
Sistemas punto multipunto AMDT								X	X	X
Sistemas telefónicos celulares								X	X	X

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

El método para determinar la precisión de las mediciones de frecuencia debe satisfacer las condiciones siguientes:

- Las mediciones deben hacerse en condiciones óptimas de recepción para no introducir nuevas variables debidas a desvanecimientos o a interferencias.
- Si es posible, los operadores no deben conocer los valores exactos de la frecuencia que se ha de medir, a fin de que no sientan la tentación de corregir los resultados obtenidos.
- Para que se cumplan las condiciones anteriores, deben utilizarse frecuencias conocidas producidas localmente en vez de emisiones de frecuencia patrón cuyo conocimiento es generalizado.

- El método debe permitir la obtención del error de medida (excluido el error debido al patrón), y no de errores parciales.
- Siendo el error probablemente diferente para las distintas clases de emisión, debe determinarse para cada una de ellas.
- Puesto que para una clase de emisión dada el error variará de una medición a otra, y no puede ser inferior a la discriminación del equipo de medida, los resultados deben tratarse estadísticamente.
- Los resultados obtenidos deben servir para indicar el error del método utilizado para la clase de emisión de que se trate, excluido el error debido al patrón.
- Cuando se defina la precisión del sistema de medición (frecuencia patrón y equipo y método de medida), debe indicarse por separado el error de cada una de los factores implicados; el error máximo del conjunto sería entonces la suma de los valores absolutos de los errores debidos a la frecuencia patrón y al método de medida.

Como cualquier otra medición, las mediciones de frecuencia están sometidas a errores. Cabe considerar las siguientes fuentes de error:

- errores debidos al método de medida ($\Delta f_M/f$);
- errores debidos a la modulación de la señal que se desea medir ($\Delta f_{mod}/f$);
- errores de la frecuencia de referencia de la configuración de la medida ($\Delta f_R/f$);
- errores debidos a las características técnicas de la configuración de la medida, incluida la precisión de lectura ($\Delta f_A/f$);
- errores en el trayecto de transmisión ($\Delta f_T/f$).

El error máximo de $\Delta f/f$ puede estimarse a partir de la suma de los errores individuales:

$$\Delta f/f = \pm(|\Delta f_T/f| + |\Delta f_R/f| + |\Delta f_M/f| + |\Delta f_A/f| + |\Delta f_{mod}/f|)$$

5.2.2. Métodos de medición de frecuencia convencionales

5.2.2.1. Método del contador de frecuencia

Independientemente de la precisión intrínseca del patrón de cuarzo, la precisión del contador de frecuencia está limitada a ± 1 unidad de la última cifra. Para funcionar correctamente, los contadores de frecuencia requieren igualmente una tensión de entrada claramente definida y suficientemente elevada durante todo el periodo de medición.

En los receptores más modernos las frecuencias del oscilador se sintetizan y obtienen a partir de un patrón de frecuencia interno. Por consiguiente, una frecuencia de entrada igual a la frecuencia de sintonía del receptor se convertirá al valor nominal de la FI. Por lo tanto, un contador de FI cuya indicación de frecuencia sea corregida por la frecuencia (o frecuencias) del oscilador utilizado indicará la frecuencia de entrada.

En el mercado existen receptores equipados con un generador de seguimiento con conversión secundaria. Dicho dispositivo genera la frecuencia de entrada mediante conversión ascendente, a partir de la última FI, utilizando los mismos osciladores empleados para efectuar una conversión descendente de la señal de entrada. En este caso, el receptor actúa como un filtro limitador

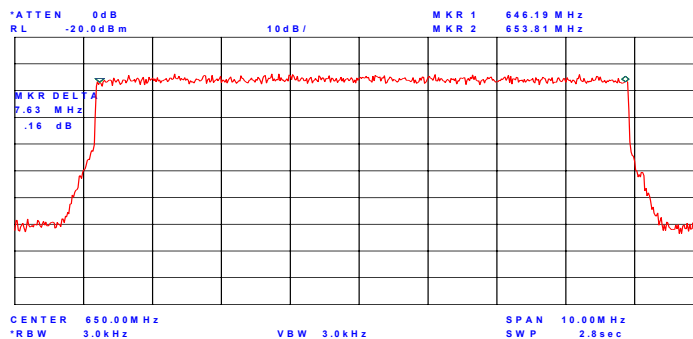
de la amplitud. En consecuencia, un contador de frecuencia conectado a la salida del generador de seguimiento mostrará la frecuencia recibida.

5.2.2.2. Método del analizador de barrido de espectro

El método del analizador de espectro sintonizado de barrido se utiliza a menudo en estaciones de comprobación técnica para medir las frecuencias de las señales recibidas. Se utiliza un oscilador sintetizado, cuya frecuencia se obtiene de una frecuencia patrón interna o externa, para sintonizar un analizador de espectro moderno.

En el caso de algunas modulaciones digitales, a diferencia de lo que ocurre en la mayoría de las modulaciones analógicas, es difícil encontrar una frecuencia característica en el espectro de emisión (como, por ejemplo, es el caso de la portadora en la mayoría de las modulaciones analógicas). En tales casos puede calcularse una frecuencia central a partir de los extremos inferior y superior de la anchura de banda ocupada véase la Figura 19.

Figura 19 Espectro de una señal dvb-t



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La frecuencia central es:

$$f_c = (f_l + f_u)/2$$

donde:

f_c : frecuencia central del espectro

f_l : valor de frecuencia más baja de la anchura de banda ocupada

f_u : valor de frecuencia superior de la anchura de banda ocupada.

5.2.3. Métodos de medición de frecuencia basados en DSP

5.2.3.1 Método de medición de la frecuencia instantánea

En particular, utilizando receptores de medida digitales como sensores, procesadores digitales de señal y técnicas de medida, tales como las de IFM, se pueden garantizar la precisión y los niveles de calidad, al tiempo que se mantienen diversas ventajas: alta fidelidad/repetibilidad de las mediciones, funciones de promediado, filtrado, automatización de las medidas, etc. Estos tiempos de medida son compatibles con las señales cuya frecuencia central varía ligeramente y permiten asimismo poner en evidencia la característica de variación mediante mediciones consecutivas.

Para hacer que las mediciones de distintas estaciones de comprobación técnica sean comparables, se deben normalizar los tamaños de las muestras de señal. Deben elegirse muestras de tamaño reducido para obtener una buena estimación de la frecuencia central instantánea de la emisión observada; por lo tanto, un valor mínimo de 200 ms parece adecuado. Se deben utilizar muestras de señales mayores para minimizar los errores debidos al ruido, especialmente cuando se midan señales que se reciban en la estación de comprobación

técnica con un nivel de ruido próximo al umbral de ruido. El tamaño de las muestras debe ser compatible con otras medidas que se realizan habitualmente en las estaciones de comprobación técnica, tales como la intensidad de campo, la profundidad de la modulación de amplitud, la frecuencia y la desviación de fase, y la anchura de banda; las muestras de las señales deben asimismo permitir el análisis fuera de línea mediante los sistemas de análisis del vector de señal cuando se estudian las señales moduladas de forma digital.

Teniendo en cuenta las limitaciones anteriores, se pueden recomendar los valores siguientes de tamaño de muestras:

- 500 us para señales GSM;
- 5 a 10 ms para señales AMDT;
- 200 ms para mediciones rutinarias rápidas sobre señales comunes;
- 1 s para mediciones rutinarias de velocidad media sobre señales comunes.

Las técnicas de procesado digital de la señal permiten realizar mediciones con una precisión y fidelidad/repetibilidad muy elevadas a un precio razonable. Se pueden alcanzar fácilmente precisiones del orden de 10^{-10} sobre una portadora pura siempre que el equipo de medida tome la referencia de un sistema de frecuencias patrón adecuado. La utilización de patrones de frecuencia GPS soluciona asimismo el problema de la trazabilidad de las medidas y de la verificación de la precisión de la frecuencia del sintetizador del receptor.

5.2.3.2 Método TRF

El método basado en la TRF es un método eficiente de convertir una amplitud digital que es función del tiempo en una amplitud que sea función de la frecuencia, siendo un método adecuado de implementar mediante microprocesadores. Los analizadores TRF para la medición de frecuencia deben tener las características siguientes:

- capacidad de ZOOM TRF en la FI del receptor aplicado, o una elevada resolución de frecuencia del receptor;
- capacidad de ventana de Hann (Hanning);
- una entrada de un patrón de frecuencia externo de 5 ó 10 MHz;
- una resolución de al menos 16 bits;
- un rango de frecuencias que debe abarcar el rango de la FI del receptor que desea medirse;
- capacidad de promediación para la medición de frecuencias de las señales de ruido.

5.2.4. Patrones de referencia de frecuencia

5.2.4.1 Patrón de referencia de cuarzo y rubidio

Todos los aparatos para la medición de frecuencias están provistos de un patrón de cuarzo, con independencia de que la escala del oscilador variable pueda calibrarse en puntos determinados por comparación con armónicos, o que la última frecuencia la suministre el patrón de cuarzo, como ocurre con los sintetizadores de frecuencias. La frecuencia de salida de la etapa de cuarzo depende de la temperatura ambiente y de la tensión de funcionamiento. Incluso después del periodo de caldeo, un generador de cuarzo acusa una variación

continua de la frecuencia de salida. Actualmente, el orden de magnitud de estas variaciones oscila entre 10^{-8} y 10^{-12} . En aparatos de buena calidad, la variación continua de la frecuencia del cuarzo está comprendida entre 10^{-10} y 10^{-9} por día tras un periodo de caldeo continuo de varias semanas. En consecuencia, las etapas de cuarzo del instrumento de medida deben compararse muy a menudo con patrones de frecuencia o controlarse mediante la emisión de una frecuencia patrón. Una alternativa a la comparación periódica consiste en enclavar permanentemente la frecuencia del cuarzo a un patrón atómico y, de esta forma, combinar la estabilidad a corto plazo del oscilador de cuarzo con la estabilidad a largo plazo del patrón atómico.

5.2.4.2 Sistema mundial de posicionamiento (GPS)

Cada satélite GPS lleva a bordo dos relojes de cesio, sincronizados por su estación principal. Si se utiliza para comparaciones de hora y de frecuencia, el error de tiempo es muy inferior a $1 \mu\text{s}$ (el valor de error promedio señalado es de 10 ns). Un error de tiempo de $1 \mu\text{s}$ por día corresponde a un error en frecuencia de 10^{-11} . Como el valor de la comparación de tiempos puede registrarse de forma permanente, el error en frecuencia es incluso inferior y, desde luego, suficiente para cualquier medición de frecuencias del servicio de comprobación técnica. Tras sincronizar el oscilador o el reloj terrestre local, basta con recibir la emisión procedente de un solo satélite.

Se recomienda controlar un oscilador de cuarzo local en cámara termostática o un patrón de rubidio mediante el receptor GPS idóneo; es decir, un receptor GPS cuyas señales de salida sean frecuencias patrón o señales horarias. Los satélites transmiten solamente señales codificadas en las frecuencias 1 575,42 MHz y 1 227,60 MHz.

5.3. Mediciones de intensidad de campo y densidad de flujo de potencia

5.3.1 Consideraciones generales

Las mediciones de intensidad de campo y de densidad de flujo de potencia normalmente obedecen a una o más de las siguientes finalidades:

- determinar la suficiencia de la intensidad de una señal radioeléctrica y la eficacia de una fuente de emisión para un determinado servicio;
- determinar los efectos de la interferencia producida por una emisión radioeléctrica intencionada concreta (compatibilidad electromagnética);
- determinar la intensidad de la señal y los efectos de la interferencia provocada por emisiones no intencionadas de cualquier forma de onda procedentes de equipos que radian energía electromagnética y evaluar la eficacia de las medidas de supresión;
- medir los fenómenos de propagación para desarrollar y comprobar los modelos de propagación;
- recopilar datos sobre ruido radioeléctrico; por ejemplo, ruido radioeléctrico atmosférico de acuerdo con el Ruego UIT-R 85;
- asegurar el cumplimiento de las disposiciones pertinentes del Reglamento de Radiocomunicaciones;
- evaluar los peligros de las radiaciones no ionizantes.

La unidad de medición de intensidad de campo comúnmente empleada es el voltio por metro (V/m) y sus submúltiplos. En realidad, esta unidad sólo es aplicable a la componente eléctrica (E) del campo, pero también suele utilizarse para expresar las intensidades de campo magnético o las componentes

magnéticas de los campos radiados en relación con la impedancia de propagación, normalmente el valor en espacio libre

$$H = \frac{E}{377 \Omega}$$

Es conveniente introducir el concepto de intensidad de campo incidente equivalente, el cual se refiere al campo resultante con la misma polarización que la antena. Para cualquier señal, puede considerarse como la suma de la onda ionosférica y la onda reflejada en el suelo.

5.3.2 Métodos de medición

Los métodos de medición se clasifican en dos grandes categorías que son: métodos normales, con los que se pretende obtener la precisión óptima, y métodos rápidos, utilizados en los casos en que el uso que quiere hacerse de los resultados admite una precisión menor, y en aquellos en que métodos y/o equipos más sencillos permiten realizar más rápida o fácilmente las mediciones. En general, conviene aplicar métodos normales cuando se deseen recoger datos con fines científicos o comprobar si se respetan debidamente las disposiciones reglamentarias (por ejemplo, estudios de propagación, campañas de mediciones de intensidad de campo, trazado del diagrama de radiación de antenas, medición de la atenuación de radiaciones armónicas o no esenciales, así como en los casos de interferencia). Los métodos rápidos se emplean en las operaciones de las estaciones fijas de comprobación en las que puede aceptarse un valor aproximado de la intensidad de campo sin necesidad de realizar mediciones más precisas (véase la Recomendación UIT-R SM.378). La Recomendación UIT-R SM.378 establece que la precisión previsible en mediciones de intensidad de campo es la siguiente, salvo que existan

limitaciones debidas al nivel de ruido, ruido atmosférico o interferencias externas:

<i>Banda de frecuencias (MHz)</i>	<i>Precisión de la medición (dB)</i>
30 MHz e inferiores	+/- 2
Superior a 30 MHz	+/- 3

Los muestreos se deben realizar de la siguiente forma:

- muestreo a intervalos próximos (por ejemplo, durante 5 s cada 2 min);
- muestreo más espaciado (por ejemplo, durante 10 min cada 90 min).

5.3.2.1 Mediciones en un punto de medida fijo

5.3.2.1.1. Mediciones con un medidor de intensidad de campo portátil

Las mediciones de intensidad de campo con un medidor portátil se realizan manualmente con la antena próxima a la persona que está leyendo los valores de intensidad de campo. Las antenas de varilla, no obstante, deben situarse en el suelo, para realizar varias mediciones por separado situando la antena en emplazamientos ligeramente distintos para cada medición (del orden de uno a cinco metros de separación según la frecuencia, correspondiendo el valor mayor a las frecuencias más bajas). El resultado es un conjunto o grupo de mediciones en torno a un punto central. A continuación se promedian los valores de las distintas mediciones para obtener un valor final. Si la antena es un cuadro apantallado, suele ser suficiente un pequeño número de mediciones, ya que este tipo de antena, sensible a la componente magnética del campo, está generalmente menos sometido a la influencia de los efectos perturbadores locales de reflexión o de radiación secundaria que una antena de varilla o un

dipolo. Si el medidor de intensidad de campo funciona con una antena de cuadro u otra clase de antena directiva y se conoce aproximadamente el acimut de la estación cuya emisión se desea comprobar con respecto al emplazamiento de medición, a menudo se podrá observar la existencia de elementos perturbadores locales ajustando la antena de modo que capte el nivel máximo de señal y verificando si la dirección de llegada indicada coincide con la dirección real de la estación. Si se observa una diferencia apreciable entre esas dos direcciones, la verdadera y la indicada, convendrá elegir otro lugar para las mediciones. Para mediciones en ondas métricas e inferiores, puede ocurrir que no se consiga hallar un lugar exento de perturbaciones y que para obtener resultados de una precisión razonable haya que recurrir al método de mediciones agrupadas y proceder a 10 o más mediciones individuales.

5.3.2.1.2. Mediciones instantáneas

En un punto de medición determinado, situado a una cierta distancia del transmisor, pueden tomarse muestras de la distribución de la intensidad de campo. Una vez que se encuentra a la altura requerida, la antena debe girarse en dirección del transmisor. Durante el periodo de medición la altura y orientación de la antena deben variarse para obtener lecturas y registros de la máxima intensidad de campo.

5.3.2.1.3. Medición de la distribución espacial de la intensidad de campo

Para obtener una estimación de gran fiabilidad del valor de intensidad de campo que cabe esperar en un punto situado a determinada distancia de un

transmisor, es preciso conocer la distribución espacial de la intensidad de campo en el entorno local del punto de medición. A tal efecto, deben realizarse medidas en varios puntos de una zona delimitada. En el caso de una distribución normal, el número de muestras necesarias para asegurar con cierto grado de fiabilidad que la intensidad de campo se encuentra dentro de una determinada gama de valores en torno de la intensidad de campo esperada, depende de la desviación típica σ . Determinando los puntos de mejor y peor recepción en dicha zona pueden medirse $E_{m\acute{a}x}$ y $E_{m\acute{i}n}$. Con base en la experiencia práctica puede obtenerse una estimaci3n de la desviaci3n típica mediante la ecuaci3n: $E_{m\acute{a}x} - E_{m\acute{i}n} = 5 \sigma$. El número necesario de muestras puede hallarse a partir de la tabla VII (D es la precisi3n lograda):

Tabla VII Número de muestras necesario dependiendo de $E_{m\acute{a}x} - E_{m\acute{i}n}$

Nivel de confianza (%)	D (/- dB)	$E_{m\acute{a}x} - E_{m\acute{i}n}/dB$			
		0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20
90	1	3	11	24	43
90	1,5	2	5	11	19
95	1	4	15	35	61
95	1,5	2	7	15	27

Fuente: Comprobaci3n técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

5.3.2.2 Mediciones a lo largo de una ruta

Bajo la influencia de las condiciones locales de recepci3n, los valores reales de intensidad de campo pueden diferir significativamente de los valores predichos y, por tanto, deben ser verificados mediante mediciones que permitan

establecer la cobertura en términos de intensidad de campo en una zona de gran extensión.

Los resultados de las pruebas deben registrarse junto con los datos de las coordenadas geográficas para la localización de las mediciones realizadas y para establecer una correspondencia entre resultados que hayan sido recopilados en las carreteras más accesibles de la zona en cuestión.

Los sistemas basados en redes digitales (tales como GSM, DCS1800, UMTS o DAB) son sensibles a los efectos de la recepción de señales reflejadas. En estos casos, además de la medición del nivel de la señal, la medición de la calidad de recepción exige la medición de la BER o de la respuesta del canal a impulsos (CIR, *channel impulse response*). Mediante sistemas de llamadas automáticas es posible realizar estas mediciones en redes digitales operativas sin que ello suponga efecto adverso alguno.

5.3.2.2.1. Velocidad del vehículo

La velocidad del vehículo debe ser la adecuada a la longitud de onda, el número de señales medidas simultáneamente a diferentes frecuencias y el tiempo de medida más reducido posible del receptor de prueba, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$v/(\text{km/h}) = \frac{864}{(f/\text{MHz}) \cdot (t_r/\text{s})}$$

donde t_r el tiempo mínimo dado por las especificaciones del receptor para la prueba a una frecuencia.

5.3.2.2.2. Número de puntos de medición necesarios e intervalo de promediación

Para que pueda realizarse una evaluación estadística (método de Lee) el número de puntos de prueba debe ser tal que los resultados muestren el cambio lento que sufre el valor de la intensidad de campo (efecto del desvanecimiento a largo plazo), debiendo reflejar también, más o menos, el carácter individual a nivel local (instantáneo) de la distribución de la intensidad de campo (efecto del desvanecimiento a corto plazo).

Para obtener un intervalo de confianza de 1 dB alrededor del valor medio real, las muestras de los puntos de prueba deben elegirse a intervalos de $0,8 \lambda$ (longitud de onda), sobre un intervalo de promediación de 40λ (50 valores medidos en 40 longitudes de onda).

5.3.2.2.3. Altura de las antenas de medición

Durante la medición la altura elegida para situar la antena es de 1,5 a 3 m. Se considerará que el resultado se ha obtenido a una altura de 3 m. La señal recibida llega con ángulos distintos hasta la antena de prueba, por lo tanto, se conoce el efecto del diagrama de la antena sobre el resultado de las pruebas de intensidad de campo.

La precisión del factor de antena, k , debe tener un margen de 1 dB. La desviación del diagrama de radiación horizontal de la antena de medida con respecto a un diagrama de radiación no direccional no debe ser superior a 3 dB.

5.4. Medición de la ocupación del espectro

5.4.1 Técnicas de medición

La comprobación técnica automática puede clasificarse según los distintos métodos de medición.

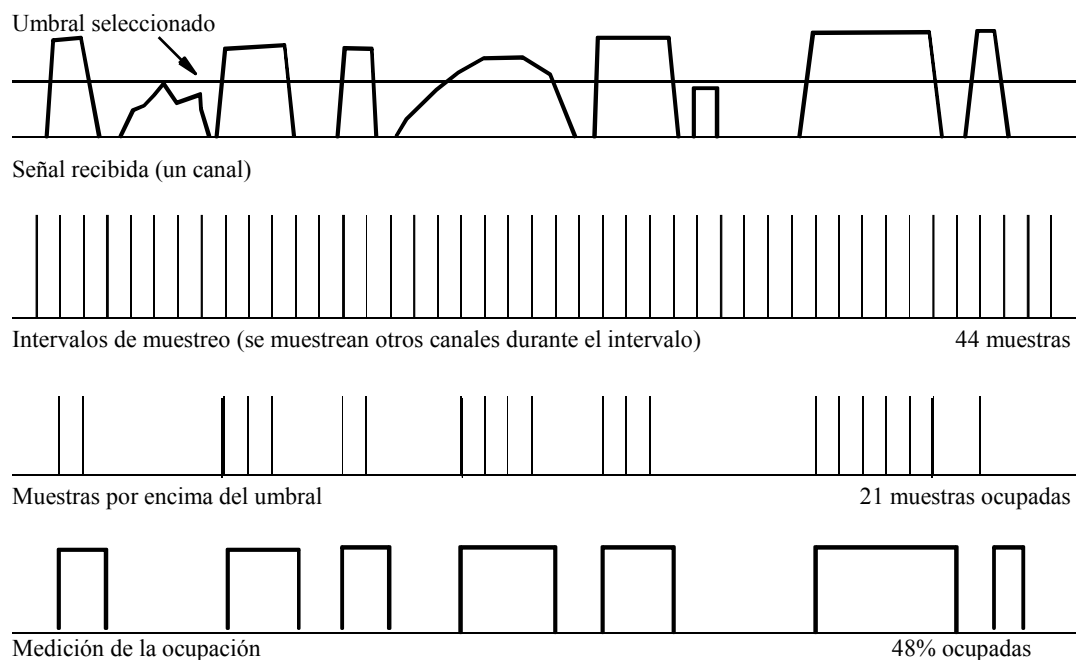
- Exploración de una banda de frecuencia determinada desde una frecuencia (F-inicio) hasta otra (F-parada) con un determinado filtro de anchura de banda. Normalmente se utiliza un analizador de espectro. Los resultados proporcionan una indicación de cuál es la ocupación de dicha banda de frecuencias, en particular durante un periodo de tiempo, normalmente 24 h.
- Medición de una serie de canales preseleccionados, que no tienen necesariamente la misma separación entre canales.

Actualmente para el análisis de la ocupación de canales en bandas de frecuencia de radiocomunicaciones, es obligatorio utilizar una configuración de equipos compuesta por un receptor de comprobación técnica (de prueba) y un analizador de espectro controlado por computadora. La misión de tal combinación es explorar, en función del tiempo, las bandas de frecuencia de anchura variable en el espectro comprendido entre 9 kHz y 3 GHz al objeto de detectar y registrar cualquier señal que se encuentre por encima del nivel de ruido o de un nivel umbral predeterminado. Además, la exploración con radiogoniometría permite registrar la ocupación distinguiendo cada uno de los transmisores.

5.4.2 Principios de muestreo

En la figura 20 se representa una señal de intensidad variable típica con el umbral indicado. Los instantes de muestreo y las muestras que registran el estado de «ocupado». En este ejemplo 21 de los 44 periodos de muestreo quedaron ocupados, lo que supuso una tasa de ocupación del 48%. Estos datos pueden resumirse para intervalos de 1, 5 ó 15 min, como se prefiera.

Figura 20 Señal de intensidad variable típica



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La técnica de muestreo proporciona normalmente una buena estimación de la ocupación de canal siempre que se tome el número suficiente de muestras para obtener resultados significativos desde el punto de vista estadístico. En la tabla VIII, extraído de la Recomendación UIT-R SM.182-4, se

indica el número de muestras necesarias para que los resultados presenten un grado de confianza razonable.

Tabla VIII Número de muestras dependientes e independientes para conseguir una precisión relativa del 10% y un nivel de confianza del 95% para diversos porcentajes de ocupación (véase la Recomendación UIT-R SM.182)

Ocupación (%)	N.º de muestras independientes requeridas	N.º de muestras dependientes requeridas	Horas requeridas de muestreo dependiente (para intervalos de 4 s)
6,67	5 850	18 166	20,18
10	3 900	12 120	13,47
15	2 600	8 080	8,98
20	1 950	6 060	6,73
30	1 300	4 040	4,49
40	975	3 030	3,37
50	780	2 424	2,69
60	650	2 020	2,24
70	557	1 731	1,92
80	488	1 515	1,68
90	433	1 346	1,49
100	390	1 212	1,35

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

5.4.3 Señales no deseadas

La mayoría de los sistemas automáticos de comprobación de la ocupación utilizan un nivel umbral para determinar cuándo está ocupada una frecuencia. Aunque el propósito evidente es registrar la actividad de las señales deseadas, la comprobación automática simple no puede discriminar entre emisiones

deseadas e indeseadas. Ambos tipos de emisiones se tratan como una ocupación legítima del canal.

Las señales indeseadas pueden ser originadas por cualquiera de las fuentes siguientes:

- transmisiones no autorizadas;
- usuarios de elevado nivel del canal adyacente;
- emisiones no esenciales y fuera de banda de transmisores;
- interferencia producida por el hombre (por ejemplo, motores eléctricos);
- condiciones de propagación reforzadas debido a condiciones meteorológicas o ambientales;
- usuarios cocanal en una ubicación distante.

Debe tenerse especial cuidado en la fase de diseño del sistema para evitar los productos de intermodulación en el receptor y para identificar dichos productos al objeto de que sean suprimidos mediante algoritmos informáticos. Para detectar un producto de intermodulación se inserta de forma automática una atenuación fija y conocida en RF en exploraciones alternativas suprimiendo todas las señales registradas que hayan sufrido una atenuación superior.

5.5. Medición de la anchura de banda

5.5.1 Definiciones de anchura de banda

ANCHURA DE BANDA NECESARIA: anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la

velocidad y con la calidad requerida en condiciones especificadas. Recomendación UIT-R SM.328 .

EMISIÓN FUERA DE BANDA: es la emisión en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la *anchura de banda necesaria*, resultante del proceso de modulación, Recomendación UIT-R SM.328 describe curvas que limitan el espectro fuera de banda de diversas clases de emisiones.

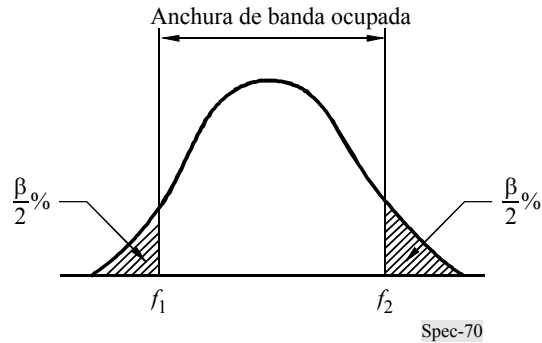
EMISIÓN NO ESENCIAL: emisión en una o varias frecuencias situadas fuera de la *anchura de banda necesaria*, cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de la conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales, pero están excluidas las *emisiones fuera de banda*.

DOMINIO FUERA DE BANDA: gama de frecuencias externa e inmediatamente adyacente a la anchura de banda necesaria pero excluyendo el *dominio no esencial*, en la que generalmente predominan las *emisiones fuera de banda*.

DOMINIO NO ESENCIAL: la gama de frecuencias más allá del *dominio fuera de banda* en la que generalmente predominan las *emisiones no esenciales*.

ANCHURA DE BANDA OCUPADA: Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan *potencias medias* iguales cada una a un porcentaje especificado, $B/2$, de la *potencia media* total de una *emisión* dada. En la Figura 21 se representa conceptualmente esta definición.

Figura 21 Definición de anchura de banda ocupada



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

ANCHURA DE BANDA ENTRE PUNTOS A X-DB: anchura de una banda de frecuencias fuera de cuyos límites inferior y superior, las componentes del espectro discreto o la densidad de potencia del espectro continuo son inferiores en por lo menos x-dB con relación a un nivel predeterminado de referencia de 0 dB. La Recomendación UIT-R SM.443 recomienda que las estaciones de comprobación técnica adopten, con carácter provisional, un método de estimación de la anchura de banda consistente en medir la anchura de banda a 26 dB (llamada anchura de banda entre puntos a «x-dB»).

5.5.2 Métodos de medición de la anchura de banda

5.5.2.1 Método que utiliza un analizador de espectro

En este método, los dos límites de frecuencia mencionados en la definición de la anchura de banda ocupada se determinan mediante la evaluación del espectro de potencia de una emisión obtenido por análisis espectral. Los valores de potencia correspondientes se obtienen sumando las potencias de las

distintas componentes espectrales. El método puede también aplicarse seleccionando muestras del espectro equidistantes en frecuencia. Dicha separación en frecuencia debe elegirse simplemente de modo tal que las muestras reproduzcan en forma apropiada la envolvente del espectro.

5.5.2.2 Métodos basados en la TRF

Existen métodos de procesamiento digital de la señal bastante simples basados en la TRF que permiten medir la anchura de banda ocupada de una emisión en el sentido que establece la definición formal al menos en el caso de una señal recibida que tenga una relación señal a ruido suficiente.

Los métodos de medición de la relación de potencias basados en la TRF requieren poco o ningún conocimiento acerca de los parámetros detallados de la modulación y pueden interpretar la parte del espectro de la señal que destaca por encima del umbral de ruido. Asimismo, el método de relación de potencia es mucho menos sensible a la ventana elegida que los valores a «x-dB». La relación señal a ruido puede aumentarse cuando sea insuficiente para determinar la anchura de banda que incluye el 99% de la potencia, mediante una integración más prolongada con una TRF de mayor resolución. Sin embargo, ello no es posible para modulaciones digitales con apariencia de ruido.

En cualquier caso, la relación señal a ruido necesaria para poder realizar la medición de la anchura de banda con el método del 99% de la potencia, no necesita ser desproporcionadamente elevada; para muchas señales, pueden obtenerse resultados precisos con una relación señal a ruido de 15 a 20 dB

(definida como la diferencia entre la señal de cresta y el ruido de fondo), que es un valor razonable para la mayoría de los casos, e inferior al valor de 26 dB. La duración de la muestra de la señal juega también un papel importante cuando se utilizan los métodos de relación de potencias basados en la TRF. El análisis de la TRF se basa en el supuesto de que la señal medida es de duración finita y ha sido capturada íntegramente. Por lo tanto, la ventana de observación debe ser suficientemente grande para que abarque toda la señal. Es por tanto necesario desarrollar métodos de medida que puedan aplicarse sobre un breve periodo de tiempo de la señal, de tal modo que sea posible realizar mediciones automáticas sobre un gran número de transmisores en un tiempo razonable.

En presencia de ruido es esencial filtrar la señal que destaca sobre el ruido, aumentando la importancia del filtrado cuando la relación S/N es baja y cuando el filtro de observación es amplio en comparación con la anchura de banda de la señal. Si se realiza una medición sin las debidas precauciones (por ejemplo, si la banda observada excede considerablemente a la anchura de banda ocupada), se medirá el 99% de la anchura de banda de la señal más el ruido, en lugar de medir sólo la señal, obteniéndose resultados completamente erróneos.

La automatización total de la medición de la anchura de banda ocupada en el contexto de la comprobación técnica del espectro es difícil de conseguir en general: la señal a medir debe filtrarse de forma tal que el canal adyacente y el canal de ruido no influyan negativamente en la medida. Además, la señal debe aislarse, lo cual implica que las emisiones presentes en el filtro deben distinguirse de las múltiples portadoras o de los lóbulos laterales de la señal a

medir. Si la señal es intermitente, las mediciones deben realizarse solamente cuando la señal esté presente.

Las mediciones de anchura de banda deben realizarse preferentemente con una relación *S/N* razonablemente elevada (digamos que sea > 20 a 30 dB) para limitar las contribuciones del ruido cuando el filtro de análisis no se establece de forma óptima alrededor de la señal deseada, y en bandas canalizadas cuando el patrón de las emisiones es bien conocido.

Las señales moduladas digitalmente tienen en general una anchura de banda que es superior a las anchuras de banda de medición necesarias para obtener una resolución razonable del espectro analizado. Sin embargo, debido a que la señal digital tiene apariencia de ruido, la reducción del nivel debida al filtro de medición estrecho será igual en todas las frecuencias del espectro emitido. Por lo tanto, el nivel de referencia cero es el nivel máximo que se visualiza cuando se registra o se explora el espectro. La medición de los puntos a *x*-dB debe realizarse entonces con la misma anchura de banda de medición.

5.5.2.3 método con un solo filtro paso banda (análisis secuencial del espectro)

Este método, que es el más común, consiste en analizar completamente el espectro de la emisión mediante un filtro de banda estrecha de barrido; por ejemplo, un analizador de espectro. Utilizando este método, se considera que la anchura de banda a *x*-dB contiene componentes discretas atenuadas a menos de 26 dB por debajo del nivel de cresta de las emisiones. Este procedimiento no proporciona evidentemente una medida precisa de la anchura de banda ocupada.

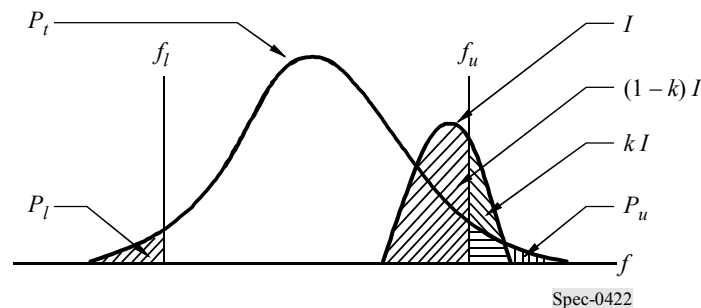
Un inconveniente importante de los analizadores de espectro que utilizan un filtro único para explorar toda la banda observada es la incompatibilidad entre una alta resolución y una gran velocidad de barrido, especialmente cuando la banda que debe estudiarse es muy ancha. Se necesita una rápida velocidad de barrido para obtener una buena representación de las componentes transitorias.

Influencia de la interferencia:

- las dos emisiones, esto es, la emisión que se desea medir y la emisión interferente, tienen distribuciones espectrales estables;
- la emisión interferente no causa bloqueo ni intermodulación, y no produce ningún otro espectro parásito.

En los métodos de medición por análisis espectral, se puede detectar la presencia de interferencia mediante el estudio de la distribución espectral, lo que permite determinar la influencia de dicha interferencia y anularla. En la figura 22 se observa la presencia de interferencia sobre la señal a medir.

Figura 22 Distribucion espectral en presencia de interferencia

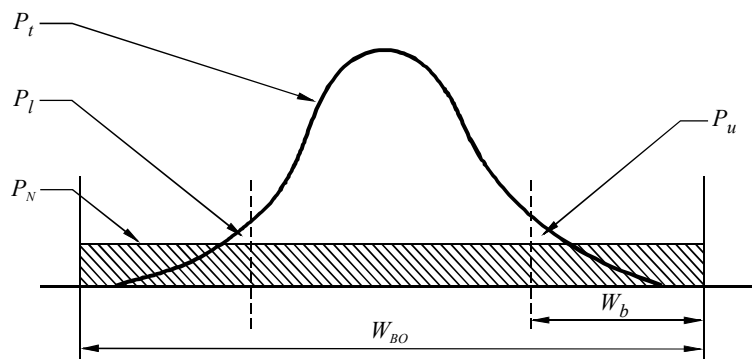


Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

De la misma manera que en el caso de la interferencia, el método de medida por análisis espectral permite determinar la influencia del ruido y suprimir sus efectos. Sin embargo, el efecto del ruido resultante es complejo ya que sus características dependen de la fuente que lo genera.

Si el ruido puede ser considerado como aleatorio, para determinar su influencia se procede de la manera siguiente. La figura 23 representa esquemáticamente la distribución espectral con ruido aleatorio. La influencia del ruido aleatorio sobre el valor medido de la anchura de banda es la misma que la de una interferencia.

Figura 23 Distribucion espectral con ruido aleatorio



W_{BO} : Anchura de banda equivalente para el ruido del aparato de medida.

P_N : Potencia total del ruido aleatorio que atraviesa W_{BO} (distribución uniforme de la potencia W_{BO}).

Spec-76

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Por ejemplo, si se quiere reducir el error de medida de la relación de potencias a menos de 0,1%, es necesario que la relación S/N de la emisión que ha de medirse, sea superior a unos 25 dB para valores de k inferiores a

aproximadamente 1/3, el cual se considera adecuado para una estación de comprobación técnica.

5.6. Medición de la modulación

5.6.1 Generalidades

La modulación es la variación de una onda denominada portadora, que puede ser sinusoidal o un tren de impulsos (por ejemplo, tensión, corriente, luz, campo eléctrico o magnético), producida por una señal. A efectos de comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas, sólo se tienen en cuenta las portadoras electromagnéticas sinusoidales (tensión, corriente o campo).

El objeto de la modulación es trasladar las señales en banda base, que normalmente no tiene una forma adecuada ni una frecuencia directamente transmisible, a una frecuencia más elevada que pueda transmitirse a través de una antena. La señal moduladora puede cambiar la amplitud o la frecuencia/fase de la portadora o ambas (modulación de amplitud MA, modulación de frecuencia MF, modulación de fase MP). Dicha señal puede ser analógica o digital.

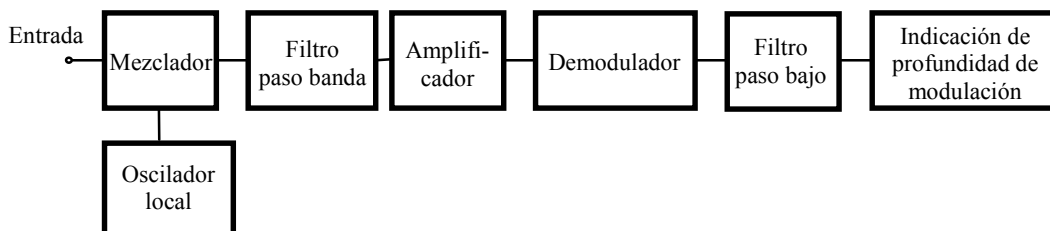
5.6.2 Métodos de mediciones para modulación

5.6.2.1 Medidor de modulación o de un analizador de modulación

Es posible realizar una investigación más detenida de los parámetros de modulación utilizando instrumentos especiales denominados medidores de modulación o analizadores de modulación (si van equipados con circuitos especiales que permiten un examen más preciso de la señal demodulada; por ejemplo, distorsión y relación señal/ruido). Normalmente, los medidores de modulación también indican el valor de la frecuencia portadora puesto que los instrumentos modernos pueden determinar este parámetro sin ningún esfuerzo adicional.

Para una utilización más general del medidor de modulación, la entrada va equipada con un convertidor de entrada o un mezclador al que se aplica la correspondiente señal del oscilador local convierte la frecuencia de entrada en una frecuencia intermedia de acuerdo con el principio superheterodino. A continuación, se demodula y se analiza dicha frecuencia intermedia. Por consiguiente, el diagrama de bloques de un medidor de modulación moderno normalmente corresponde al representado en la Figura 24. Si el medidor se emplea para realizar mediciones en señales con modulación de amplitud, el demodulador es evidentemente un demodulador de amplitud, como se representa en dicha Figura 24.

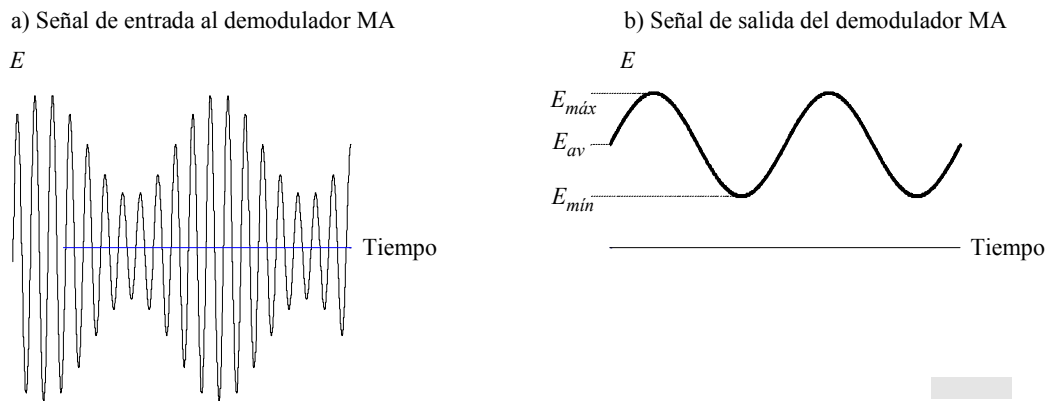
Figura 24 Diagrama de bloques de un medidor ma con entrada por mezclador



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Sin embargo, el paso de entrada del mezclador sin ninguna preselección es sensible a más de una frecuencia. Por consiguiente, este tipo de analizador de modulación puede utilizarse únicamente conectado a la salida de FI de un receptor o a la salida de un transmisor a través de una red de acoplamiento adecuada que proporcione la necesaria atenuación de la señal. La salida del demodulador de MA es, por ejemplo, la envolvente positiva de la tensión de la onda modulada, como se muestra en la Figura 25.

Figura 25 Señales de entrada y salida del demodulador de ma



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

Otra posibilidad de medir la desviación de estaciones de difusión en MF consiste en aplicar un analizador en el dominio de la modulación (MDA, *modulation domain analyser*) basado en IFM. La velocidad de muestreo debe elegirse de acuerdo con la modulación (por ejemplo, un máximo de 40.000 muestras por segundo si la frecuencia moduladora máxima es 15 kHz), y el tiempo de repetición de la medida (ventana de tiempo) debe corresponder con la frecuencia más baja a la que se desea determinar la desviación. Cuanto más

prolongado sea el tiempo de medida, más reducida debe ser la frecuencia de modulación que puede detectarse una vez procesadas las muestras.

Para evitar que se incumpla la relación de protección establecida en la Recomendación UIT-R BS.412, la desviación máxima no debe superar 75 kHz. Esta desviación debe medirse de conformidad con la Recomendación UIT-R SM.1268, es decir, el valor máximo medido de la desviación en un periodo de 50 ms. Para incluir las variaciones en la desviación causadas por las componentes más elevadas en la señal múltiple, la velocidad muestra debe ser al menos de 200 kHz. En la Recomendación UIT-R BS.450 se establece que señales adicionales tales como RDS, etc., no deben exceder el 10% de la desviación máxima, es decir, en este caso, 7,5 kHz

5.6.2.2 Medición a distancia de la profundidad de modulación

Medición a distancia significa que no hay acceso directo a la señal modulada que debe medirse, aislada de otras señales. La señal analizada se encuentra dentro de un espectro que puede contener muchas otras señales. Por consiguiente, deben proporcionarse los medios adecuados para separar la señal deseada, que en muchos casos consisten en un receptor con la banda de paso adecuada y un control automático de ganancia eficaz.

Pueden utilizarse varios métodos para medir la profundidad de modulación. La elección del método depende de la forma en la que deban presentarse los resultados. A veces sólo es necesario comprobar los valores instantáneos de la profundidad de modulación correspondientes a las crestas de modulación para verificar que no hay sobremodulación. En este caso, un osciloscopio conectado a la salida de frecuencia intermedia de un receptor

puede ser suficiente para efectuar una rápida verificación. También puede utilizarse un analizador de espectro que funcione en modo de intervalo cero (dominio del tiempo) o un analizador de vector de señal.

Por otro lado, puede ser interesante conocer el valor medio de la profundidad de modulación a lo largo de intervalos de tiempo determinados para asegurar que el transmisor se utiliza adecuadamente. Además, en algunos casos quizás tenga interés conocer la calidad de la modulación, como por ejemplo la relación señal/ruido o el contenido de distorsión. En todos estos casos es necesario emplear un analizador de modulación que también contenga un medidor preciso de la profundidad de modulación. Dicho instrumento presenta los resultados en cualquier forma deseada, por ejemplo en un panel frontal, en la pantalla de un computador personal (PC), de forma impresa o gráfica.

Las posibles fuentes de errores en la medición son las siguientes:

- la anchura de banda del instrumento no está adaptada a la señal modulada;
- aparición de ruido o señales que no forman parte de la transmisión que se está analizando.

Para evitar este problema, las mediciones deben efectuarse con la relación S/N óptima en el receptor (medidor de modulación) y utilizando una antena directiva para eliminar al máximo las señales no deseadas y obtener la tensión máxima de la señal deseada.

5.6.2.3 Medición de la máscara espectral para la radiodifusión MF

Un método sencillo para verificar si la emisión cumple las relaciones de protección de los transmisores de radiodifusión en MF es el método de la máscara espectral descrito en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.1268. Para esta medición se utiliza un analizador de espectro en el modo de retención de máximos con los parámetros siguientes:

- anchura de banda de resolución 10 kHz
- anchura de banda de vídeo 10 kHz
- Intervalo 340 kHz
- velocidad de barrido 340 ms (1 kHz por ms)
- tiempo de medida 3 veces 5 min, preferiblemente con distintos tipos de programas.

La señal recibida debe ser suficientemente intensa de forma que se evite cualquier influencia sobre los resultados de las medidas por parte de relación señal a ruido y de señal a interferencia. Para obtener una buena medición, el nivel debe estar al menos 50 dB por encima del nivel de los canales adyacentes.

5.7. Radiogoniometría y localización

5.7.1 Consideraciones generales

La radiogoniometría tiene por objeto determinar la línea de marcación (LOB) de una fuente cualquiera de radiaciones electromagnéticas utilizando las propiedades de propagación de las ondas. Considerada de esa forma general,

la radiogoniometría puede utilizarse para determinar la posición de un transmisor radioeléctrico o de una fuente de ruido radioeléctrico, si esas fuentes se encuentran situadas en la superficie de la Tierra.

En consecuencia, la radiogoniometría es indispensable para los fines siguientes:

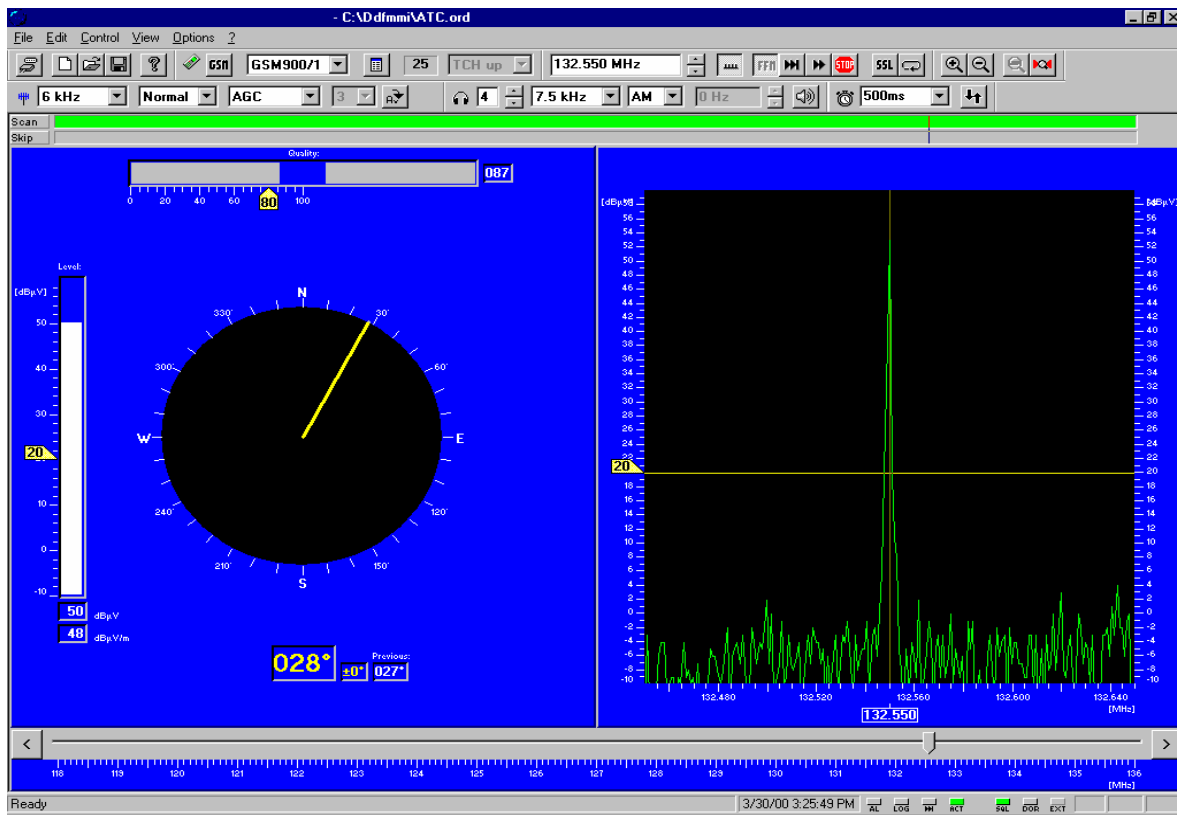
- localización de un transmisor en situación de emergencia;
- localización de un transmisor no autorizado;
- localización de un transmisor interferente que no puede ser identificado por otros medios;
- determinar el emplazamiento de una fuente de interferencia perjudicial para la recepción, tales como equipos eléctricos, aisladores defectuosos en una línea de alta tensión, etc.;
- identificar los transmisores, tanto conocidos como desconocidos.

En estas circunstancias, si se dispone del equipo receptor adecuado que indique la dirección de llegada, es posible obtener una marcación de la fuente (transmisor o corriente interferente) y determinar la dirección de dicha fuente con relación al lugar de recepción.

Un radiogoniómetro es un sensor utilizado para determinar la dirección de llegada o el acimut de una onda electromagnética (en condiciones ideales) con respecto a una dirección de referencia. Todos los radiogoniómetros hacen uso del retardo diferencial de la señal a través de una abertura de antena para obtener una marcación de señal. Algunos sistemas, como los interferómetros de fase, miden el retardo diferencial directamente y otros, como los sistemas de antenas de cuadro giratorias o las redes de antenas dispuestas de forma circular (Wullenweber, Adcock), miden una función del retardo obteniendo un

diagrama de amplitud de antena directiva. La arquitectura funcional común a todos los radiogoniómetros incluye una red de antenas, un conjunto receptor y un procesador del radiogoniómetro. En la figura 26 aparece la fotografía de una consola de visualización de un radiogoniómetro.

Figura 26 Consola de visualización de un radiogoniómetro



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La composición y el procesamiento de la señal realizados en cada subconjunto dependen de las características de la red de antenas del radiogoniómetro y el sistema de medición/procesamiento para extraer la

información sobre el acimut. En el estado actual de la tecnología, las técnicas radiogoniométricas se agrupan en tres categorías generales, a saber:

- radiogoniometría por amplitud;
- radiogoniometría por fase;
- radiogoniometría por correlación vectorial de fase y amplitud y radiogoniometría con superresolución.

La adquisición de la información, que puede ser en paralelo o de forma secuencial; si es:

- en paralelo, la medición es casi instantánea y relativa a tantos canales de recepción como señales generadas por las antenas;
- de forma secuencial, el resultado está disponible únicamente al final de una secuencia de conmutaciones de RF, ya sea en las antenas o tras realizar una ponderación en fase y/o amplitud de las señales de antena.

Las características operativas y de diseño del equipo (modo de visualización, concepto operativo, capacidad de control remoto, gama de temperaturas, robustez mecánica, forma, peso, consumo de potencia etc.) deben satisfacer los requisitos de la aplicación de que se trate. Las principales características técnicas de los radiogoniómetros son: precisión, sensibilidad, inmunidad frente a ondas distorsionadas, insensibilidad a la despolarización, efectos de la interferencia cocanal y respuesta rápida.

Los radiogoniómetros presentan generalmente una precisión de aproximadamente 1° a 3° . En cuanto a la precisión especificada, hay que tener en cuenta que el error del sistema presenta dos componentes. La primera de

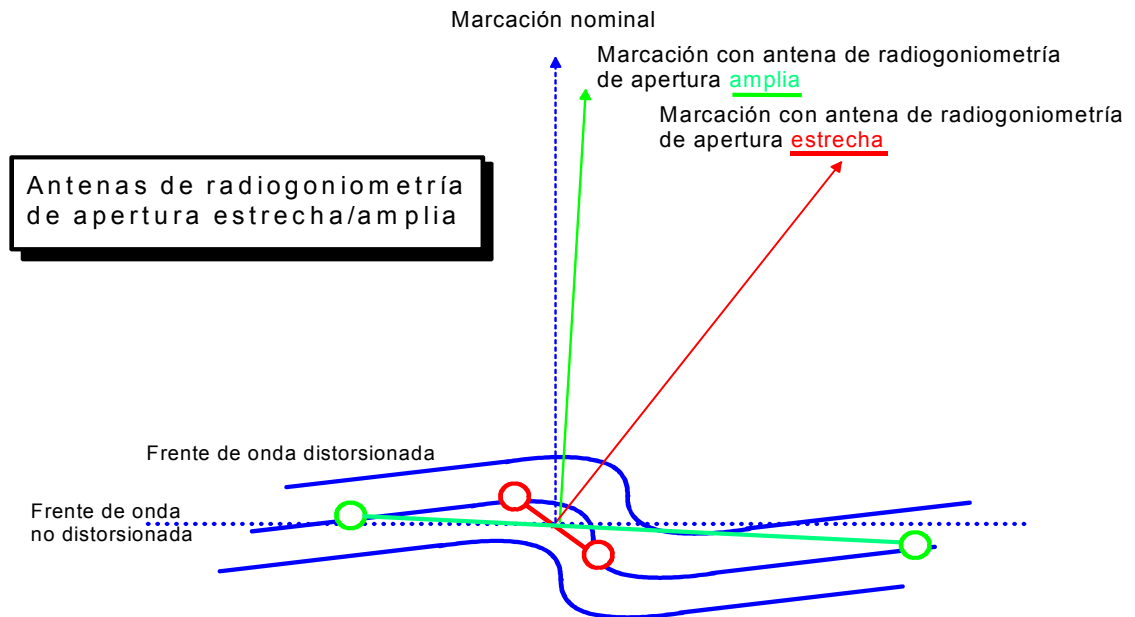
ellas, error de acimut, depende de la dirección de incidencia de la señal. La segunda, error de frecuencia, es un error del radiogoniómetro en función de la frecuencia seleccionada. Normalmente, la precisión del sistema se define para señales con una relación señal a ruido suficiente (> 20 dB).

Una buena sensibilidad es importante por dos razones: ampliar la cobertura de los radiogoniómetros en buenas condiciones de recepción, y lograr una fiabilidad suficiente en el radiogoniómetro en condiciones menos favorables.

Con bastante generalidad, la sensibilidad de un radiogoniómetro está estrechamente relacionada con el instante de observación y normalmente se define junto con una fluctuación especificada de la marcación. La variación de la sensibilidad varía en forma inversamente proporcional a la relación D/λ (D – diámetro de la antena del radiogoniómetro, λ – longitud de onda de la señal recibida), la relación señal/ruido, el tiempo de integración disponible y la anchura de banda seleccionada.

Los radiogoniómetros deben de presentar una alta Inmunidad frente a ondas distorsionadas (interferencia coherente), esto es debido a que cada radiogoniómetro obtiene la información sobre la dirección a partir del campo electromagnético, que normalmente se supone homogéneo y propagado sin perturbaciones. En este caso ideal, que pocas veces se da en la realidad, los frentes de onda son planos; las líneas con igual fase e igual amplitud son líneas rectas paralelas véase la figura 27.

Figura 27 Antena de radiogoniometro de abertura estrecha/ancha



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

A lo largo de su trayecto de propagación, las ondas electromagnéticas sufren reflexiones en los obstáculos y difracciones provocadas por aristas interpuestas. En las bandas de ondas decamétricas también puede producirse recepción por trayectos múltiples debido a condiciones de propagación especiales, la mayoría de las veces dependientes de la frecuencia. Como resultado de ello, se producen interferencias, y el frente de onda plano original se distorsiona. De las diversas relaciones entre la amplitud, la fase, el número y el ángulo diferencial de las ondas mutuamente interferentes surgen diversos tipos de distorsiones.

Dependiendo de su diámetro D , una antena de radiogoniómetro detecta sólo una pequeña parte del frente de onda. La dirección determinada siempre

es la línea perpendicular a la sección del frente de onda promediado. En un campo distorsionado cabe esperar resultados muy distintos, que dependen de la abertura de la antena del radiogoniómetro con respecto al periodo espacial del rizado isofásico en el campo distorsionado. Es pues aconsejable elegir una antena de radiogoniómetro de grandes dimensiones en comparación con la longitud de onda λ a fin de reducir al mínimo los errores provocados por las distorsiones de campo. Si la relación $D/\lambda > 1$, el radiogoniómetro se considera de abertura amplia, y si dicha relación es inferior a 0,5 se dice que las antenas del radiogoniómetro son de abertura estrecha.

Si además de las señales deseadas se reciben simultáneamente otras señales en la misma anchura de banda, se está en una situación de transmisores cocanal no coherentes. Las indicaciones de marcaciones erróneas provocadas por estos transmisores de interferencia cocanal, deben reconocerse e identificarse. Si es posible, se deben tomar marcaciones individuales de todas las señales en el caso de interferencia cocanal o interferencia deliberada, puesto que a menudo es la señal más débil la que tiene mayor interés.

Dependiendo del principio de funcionamiento de un radiogoniómetro el tiempo de respuesta de la señal debe estar disponible durante un cierto tiempo mínimo para permitir la lectura de las marcaciones. Los sistemas de radiogoniometría en ondas decamétricas, métricas y decimétricas deben poder detectar señales con tiempos de permanencia de 10 ms o menos.

En muchos casos, la línea de marcación no será suficiente para realizar la identificación y será necesario determinar la posición del transmisor. El método clásico para ello es combinar dos o más radiogoniómetros para llevar a cabo una triangulación (manual o por computador). En la banda de ondas

decamétricas, con propagación ionosférica, es posible determinar la posición de un transmisor utilizando solamente una estación de radiogoniometría (localización de una sola estación, (SSL) siempre que el radiogoniómetro proporcione además información sobre el ángulo de elevación además del acimut.

5.7.2 Técnicas y sistemas de radiogoniometría

Las técnicas consideradas son:

- Característica de antena giratoria.
- Wullenweber.
- Adcock/Watson-Watt.
- Doppler/seudo-Doppler.
- Interferómetro de fase.
- Correlación/superresolución.

Estas técnicas han sido desarrolladas una a una consecutivamente, reemplazando así una a la otra, llegando hasta la técnica de Correlación/Superresolución (véase la tabla IX) la cual es utilizada para describir los sistemas de radiogoniometría modernos, que tienen la capacidad de resolver dos o más señales cocanal simultáneas. Estos tipos de sistemas, que deben su temprano desarrollo a la radioastronomía, utilizan redes de antenas sofisticadas y avanzadas técnicas de cálculo estadístico para extraer la información contenida en las señales recibidas por cada antena. Para evaluar todos los términos de autocorrelación y correlación cruzada en la tensión de la señal correspondientes a los elementos de la red de antenas y determinar la presencia de las señales múltiples en la banda de paso, se utilizan métodos estadísticos avanzados tales como el algoritmo de clasificación de señales múltiples (MUSIC). Normalmente, estos sistemas determinan la LOB para las señales resueltas correlando los datos de amplitud y fase recibidos con una

base de datos de calibración de amplitud y fase para la red de antenas. Este método, llamado de interferometría de correlación, permite eliminar los errores introducidos por los instrumentos y asociados al emplazamiento y puede adaptarse para ser empleado con una amplia variedad de redes de antenas. Las técnicas de superresolución no se utilizan ampliamente en las aplicaciones de comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas debido a su limitada respuesta en el tiempo debida al tiempo de cálculo necesario.

Tabla X Interferómetro correlativo/radiogoniometría con superresolución

<p>Mediciones con la red de antenas de radiogoniometría</p>	<p>Para cada antena se mide la tensión de señal compleja (amplitud y fase), realizándose medidas en al menos dos antenas simultáneamente. Normalmente se requiere un mínimo de dos canales receptores coherentes. En lugar de ello, puede utilizarse un circuito receptor con técnicas de multiplexación.</p> <p>Para la radiogoniometría con superresolución, se emplean pares de tensiones para todos los posibles emparejamientos de antenas en la red de antenas a fin de generar la matriz de covarianza de medición. La matriz se evalúa para resolver el contenido cocanal en la señal recibida. En el interferómetro correlativo se emplea un subconjunto de las posibles tensiones de antena a fin de generar el vector de medición</p>
<p>Conversión de la medición a marcación radiogoniométrica</p>	<p>La interferometría correlativa utiliza vectores de calibración generados durante la calibración del sistema en fábrica. La marcación es el valor del acimut interpolado correspondiente al vector de calibración del acimut que mejor concuerda con el vector de medición.</p> <p>Para la radiogoniometría con superresolución, se calculan múltiples marcaciones utilizando valores de acimut interpolados correspondientes a los vectores de calibración de acimut que mejor concuerdan con el subespacio de señal generado por la matriz de covarianza de medición</p>
<p>Precisión (sin influencia de emplazamiento)</p>	<p>□ 1°</p>
<p>Sensibilidad</p>	<p>Alta</p>
<p>Tiempo de respuesta Interferometría correlativa Radiogoniometría con superresolución</p>	<p>Para ondas decamétricas □ 100 ms Para ondas métricas/decimétricas □ 10 ms</p> <p>NOTA – Los tiempos de procesamiento del sistema se alargarán si sólo se emplean dos canales de receptor en paralelo</p>
<p>Inmunidad contra la despolarización</p>	<p>Es función de las características de polarización de la red de antenas a menos que se utilice compensación mediante el algoritmo polarizado doble adecuado para estos sistemas de procesamiento vectorial</p>

5.7.2.1 Sistemas de radiorrecalada móvil

Los métodos de radiorrecalada están empleando con éxito equipos móviles de complejidad mínima y una precisión sólo moderada. También son eficaces para las tareas de supresión de interferencias utilizando vehículos de comprobación técnica móvil. Esta estrategia permite desplazarse rápidamente a las proximidades del transmisor siguiendo aproximaciones sucesivas en la línea verdadera de marcación. A medida que disminuye la distancia al transmisor, la magnitud del error de distancia absoluto también disminuye hasta un valor admisible, aun cuando el error relativo en grados permanezca constante. Entre las ventajas de esta estrategia puede citarse el menor coste y complejidad de los equipos, el hecho de que normalmente se obtengan resultados aceptables en un tiempo razonable, el hecho adicional de que los problemas de errores debidos al emplazamiento sean mucho menos importantes porque la unidad es móvil y las contribuciones de los errores pueden promediarse sobre una línea de base larga y, por último el que la información de radiogoniometría pueda deducirse a partir de una modulación del sistema de radiorrecalada subaudible y localmente inducida que no perturba la información a transmitir.

Únicamente se necesita un sistema de radiogoniometría por radiorrecalada para localizar una fuente de señal, aunque la utilización simultánea de otros sistemas puede agilizar la localización del transmisor.

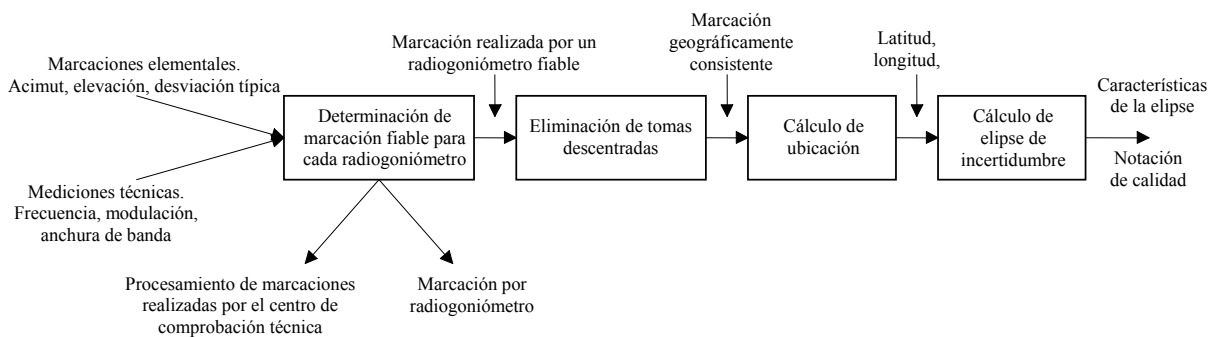
Dos estaciones de radiogoniometría móviles se conectan a través de radioenlaces de datos en la banda de ondas métricas y funcionan en mutua cooperación. Cualquiera de las dos estaciones puede actuar como estación principal y la otra como estación subordinada. La estación principal transmite una instrucción de radiogoniometría mediante la cual se controlan ambos radiogoniómetros para llevar a cabo la medición radiogoniométrica o marcación

del mismo objetivo al mismo tiempo. Los datos de marcación obtenidos en cada estación se evalúan de acuerdo con una «graduación» basada en el margen de variación de la marcación, y a continuación se envían a la otra estación junto con los datos de evaluación y el valor de la intensidad de campo. El procesador de datos situado en cada estación procesa la marcación y evalúa los datos en forma de haces de marcación. El haz de marcación es el comprendido entre dos líneas que delimitan el ángulo de abertura (una sola línea cuando la evaluación es óptima). Posteriormente se determina la posición del transmisor a partir de la intersección de los dos haces de marcación.

5.7.3 Cálculo de la posición

En la Figura 28 se representa el cálculo para determinar la posición.

Figura 28 Esquema del cálculo de la posición

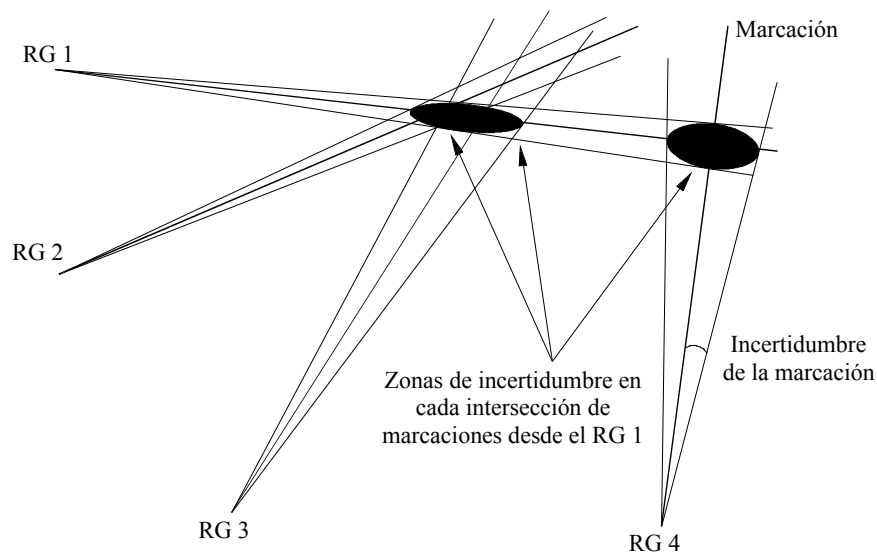


Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

5.7.3.1 Eliminación de marcaciones no convergentes

Esta etapa se realiza manualmente en algunos sistemas de localización. Se propone aquí (véase la figura 29) un método automático que permite determinar geográficamente las marcaciones no convergentes.

Figura 29 Examen de posible asociación con la marcación tomada por el radiogoniómetro 1 (rg 1) rg 1, rg 2, rg 3 pueden asociarse, rg 4 no puede asociarse



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

El método consiste en examinar para cada caso el número de tomas coherentes con dicho caso. En cada toma se determina la zona cubierta por el propio error angular de cada una de las tomas.

Cuando las zonas se superponen parcialmente, se dice que las tomas pueden asociarse. Por consiguiente, para cada toma se examinan las diversas asociaciones posibles y se retiene la asociación que incluye el mayor número de tomas. Si ese número ha sido alcanzado por varias asociaciones, se retiene la asociación obtenida con las mejores marcaciones y el mejor ángulo de abertura con respecto al objetivo. Las marcaciones que no forman parte de la mejor asociación se considera que están descentradas y no se tienen en cuenta los cálculos de determinación de la posición.

5.7.3.2 Evaluación del punto de localización

En esta etapa se proporciona un cierto número de marcaciones coherentes entre sí, pero que no todas se cruzan en el mismo punto geográfico. La finalidad de la etapa es determinar la posición óptima del punto de localización. La posición óptima se calcula aplicando el método del error cuadrático mínimo. A tal efecto, se busca el punto en el que se reducen al mínimo las variaciones angulares que hay que aplicar a cada marcación para dirigirla hacia ese mismo punto.

Si P es un punto cualquiera y d_1, d_2, d_3, \dots son las variaciones angulares que hay que aplicar a cada marcación para que pase por P , y v_1, v_2, v_3, \dots son las varianzas de las diversas marcaciones, se define S_p por:

$$S_p = (d_1^2 / v_1) + (d_2^2 / v_2) + (d_3^2 / v_3) + \dots$$

El punto óptimo es el que minimiza la cantidad S_p . pero debe recordarse que el método calcula una estimación, y que no existe ninguna fórmula matemática de la que se obtenga la posición exacta.

5.7.3.3 Método de localización de un solo emplazamiento

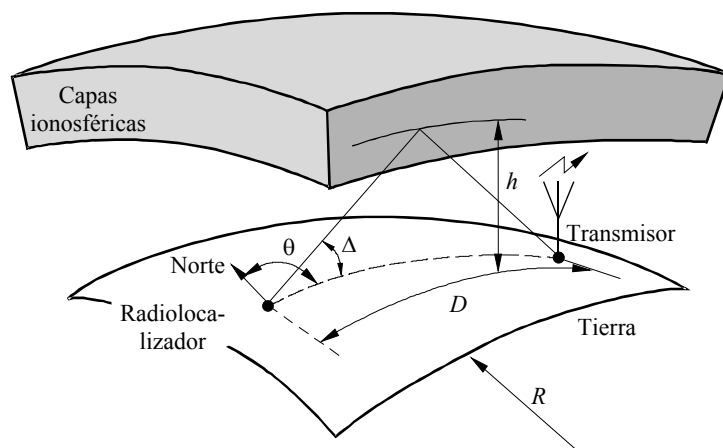
El sistema de localización de una sola estación (SSL) permite determinar la posición geográfica de un transmisor con un solo radiogoniómetro (véase la figura 30). El sistema de procesamiento de los datos proporcionados por dicho radiogoniómetro (acimut, elevación, posición) unido a las predicciones ionosféricas, permite estimar la distancia del transmisor al radiogoniómetro. De este modo, el concepto SSL permite llevar a cabo la localización cuando por razones geográficas, de tiempo o de disponibilidad, no puede instalarse un sistema completo de localización mediante triangulación radiogoniométrica. El sistema SSL también puede considerarse como complemento a un sistema de localización existente, permitiendo la supresión de marcaciones aberrantes.

Los radiogoniómetros SSL proporcionan simultáneamente el acimut y el ángulo de elevación de la señal recibida por la red de antenas. La propagación se realiza por onda de superficie y por onda ionosférica a través de múltiples trayectos correspondientes a los distintos ángulos de elevación. De ahí resulta que el radiogoniómetro SSL señala un ángulo de elevación que presenta variaciones en el tiempo debidas a las interferencias causadas por trayectos múltiples. Se utilizan algoritmos de procesamiento para determinar los valores de los ángulos de elevación relativos a los citados trayectos múltiples.

Este procesamiento, asociado a las previsiones ionosféricas, permite estimar la distancia al radiogoniómetro para una distancia de hasta de 2 500 km. Junto con los datos sobre el acimut, la distancia y la posición del radiogoniómetro se pueden calcular las coordenadas geográficas del transmisor de ondas decamétricas.

La base del método SSL es el denominado método clásico de estimación de la distancia. En este procedimiento se supone que puede establecerse un modelo de la propagación real de las ondas decamétricas basado en que la reflexión tenga lugar en un solo espejo horizontal que se encuentra a la altura adecuada. La altura de este espejo se obtiene a partir de un ionograma de incidencia vertical, como la altura virtual de la denominada frecuencia de incidencia equivalente. El método clásico se basa en tres relaciones fundamentales sencillas, la Ley de la secante, el teorema de Briet y Tuve y el teorema del trayecto equivalente de Martyn. El resultado es sólo aproximativo puesto que el teorema de Martyn únicamente es exacto para una Tierra e ionosfera planas.

Figura 30 Principio del sistema de localización de una sola estación



- θ : acimut geográfico
- Δ : ángulo de elevación
- D : distancia
- H : altura de la reflexión virtual
- R : radio de la Tierra

Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

La limitación de la técnica SSL se basa en la hipótesis de que la señal se refleja en la ionosfera solamente una vez (un solo salto). La propagación por saltos múltiples da lugar a que las distancias calculadas sean más cortas que las reales. Además, los valores de la altura ionosférica pueden ser ambiguos. En consecuencia, la reflexión puede producirse en varias capas de distintas alturas, con el resultado de que el sistema SSL indique distintas distancias a los objetivos.

Los sistemas SSL informatizados funcionan con un microcomputador que integra:

- los ficheros de predicción ionosférica o los datos ionosféricos reales correspondientes a una determinada fecha, posición geográfica e índice de actividad solar;
- un tratamiento preliminar para obtener el ángulo de elevación y establecer los ficheros de predicción ionosférica;
- realizar los cálculos sobre la distancia del transmisor hasta la posición del radiogoniómetro.

5.8. Análisis de la señal

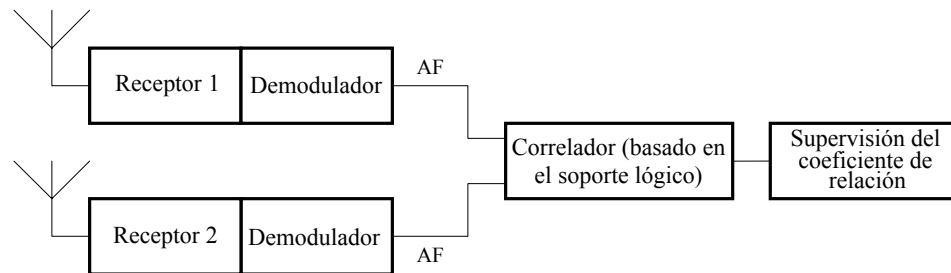
Para la detección y el análisis de la interferencia se utilizan técnicas de correlación cruzada y de filtrado adaptativo.

5.8.1 Técnicas de correlación

El método de correlación implementado en un sistema de análisis de señal puede utilizarse para aclarar cómo se forma la interferencia y para identificar

sus fuentes. El sistema se basa en el analizador de banda estrecha y, en esta aplicación, el sistema se configura para funcionar con doble canal. En la figura 31 se muestra un diagrama simplificado.

Figura 31 Dispositivo de correlación cruzada para análisis de interferencia



Fuente: Comprobación técnica del espectro, 2002, ISBN: 92-61-05763-2

El proceso de correlación es realizado por un dispositivo medidor de correlación basado en el soporte lógico. El sistema funciona de la forma siguiente: se utilizan dos receptores separados; uno se sintoniza a una señal interferida y el otro a las señales sospechosas de ser interferentes, una a una. Calculando los coeficientes de correlación entre las señales demoduladas de ambos receptores, puede identificarse la señal interferente. El sistema está integrado es un paquete de soporte lógico que incluye la licencia para utilizar una base de datos y una base de datos de comprobación técnica. Los tipos detectados de interferencia son los siguientes:

- Emisiones no esenciales;
- emisiones de intermodulación;
- canales con señales no esenciales y de intermodulación de un receptor;
- efectos de bloqueo y modulación cruzada;
- interferencia del canal adyacente.

5.8.2 Técnicas de filtrado adaptativo para separación de fuentes de señales AMDT y AMDC

La aplicación de técnicas adaptativas permite en un contexto de múltiples fuentes y en condiciones de interferencia severa realizar la sincronización del tráfico y de los canales de baliza de la señal AMDT y AMDC, así como la medición del nivel y de las relaciones C/I para dichas señales, junto con la demodulación y la decodificación de los mensajes contenidos en los canales de señalización, permitiendo así su identificación.

CONCLUSIONES

1. La Superintendencia de telecomunicaciones de Guatemala (SIT) tiene la finalidad de ser el ente regulador del espectro radioeléctrico en este país y, por consiguiente, deberá ser el responsable de proporcionar cada banda de frecuencia asignada a cada usuario, libre de radio interferencia por medio de la comprobación técnica del mismo.
2. Las personas individuales o jurídicas que posean títulos de usufructo de frecuencias y que, en algún momento, sufran interferencias radioeléctricas, podrán denunciarlas a la Superintendencia de telecomunicaciones (SIT) proporcionándole un informe técnico.
3. Esta documentación normativa de características técnicas y procedimientos para la realización del peritaje de comprobación técnica de radio interferencia basado en normas y recomendaciones internacionales, desarrolladas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) será el procedimiento general para generar el informe técnico que se presentará a la superintendencia de telecomunicaciones.
4. Para que el informe técnico generado sea válido, luego de realizado el peritaje de determinación de radio interferencia, es necesario utilizar las características técnicas específicas acerca de antenas, receptores, equipos de medición y estaciones de comprobación técnica estipulados estrictamente en esta normativa.

5. Para que el informe técnico generado respecto de radio interferencia sea preciso y confiable, es necesario realizar mediciones de frecuencia, intensidad de campo, ocupación de espectro, anchura de banda, modulación, radiogoniometría y localización como se describen los procedimientos, técnicas y métodos en esta normativa.

6. Para validar la información de las mediciones establecidas es necesario que los equipos de medición utilizados posean una trazabilidad de su estricto control metrológico, basado en patrones internacionales de referencia.

RECOMENDACIONES

1. La Superintendencia de telecomunicaciones de Guatemala (SIT) deberá establecer un sistema de gestión y comprobación técnica del espectro radioeléctrico, para asegurarse de que cada banda de frecuencia asignada este libre de radio interferencia.
2. Cada empresa de radio telecomunicaciones que opera en Guatemala, al observar degradaciones en sus señales, deberá de realizar un peritaje de comprobación de radio interferencia, de comprobarse deberá de presentar un informe técnico a la Superintendencia de Telecomunicaciones para que ésta pueda actuar como mediador y solucionador de dicho problema.
3. La Superintendencia de Telecomunicaciones deberá establecer y estandarizar esta documentación normativa de características técnicas y procedimientos para la realización del peritaje de comprobación técnica de radio interferencia basada en normas y recomendaciones internacionales desarrolladas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como el procedimiento general para generar el informe técnico y su respectiva verificación y comprobación.
4. Para la realización del peritaje de radio interferencia es necesario evaluar las condiciones de la señal a verificar y, en base a ello, determinar las características técnicas normalizadas sobre antenas, receptores, equipos de medición y estaciones de comprobación técnica

estipulados, estrictamente, en esta normativa, de lo contrario no tendrá validez el peritaje realizado.

5. Para la determinación correcta de la existencia de radio interferencia, es necesario realizar mediciones de frecuencia, intensidad de campo, ocupación de espectro, anchura de banda, modulación, radiogoniometría y localización como se describen los procedimientos, técnicas y métodos en esta normativa, con el fin de evaluar, objetivamente, desde cualquier percepción.
6. Las empresas que posean equipos de medición deberán de crear una base de datos, en donde se registren las calibraciones y reparaciones de cada uno de sus equipos, con el fin de establecer la trazabilidad de su estricto control metrológico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bertoni, Henry L. **Radio Propagation for Modern Wireless Systems.** Primera edición. Estados Unidos de América: Prentice Hall PTR, 2000
2. Collin, R.E. **Antennas and radiowave propagation.** Primera edición. S.I:McGraw-Hill. 1985.
3. Hayt, William H. **Teoría Electromagnética.** Segunda edición. México D.F: McGraw-Hill, 1991
4. Stremmer, Ferrel G. **Introduction to Communication System.** Tercera edición. S.I: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A, 1993.
5. Superintendencia de Telecomunicaciones. **Ley General de Telecomunicaciones.** Republica de Guatemala:1998.
6. Taub, Herbert y Donald L Schilling. **Principles of Communication Systems.** Segunda edición. S.I: McGraw-Hill, 1986.
7. Unión Internacional de Telecomunicaciones. **Comprobación técnica del espectro,** ISBN: 92-61-05763-2. 2002.
8. Recomendación UIT-R BS.516 – **Intensidad de campo resultante de dos o más campos electromagnéticos.**
9. Recomendación UIT-R BS.643 – **Sistema para la sincronización automática y otras aplicaciones en los receptores radiofónicos con modulación de frecuencia para su utilización con el sistema de frecuencia piloto.**
- 10.Recomendación UIT-R BS.705 – **Características y diagramas de las antenas transmisoras y receptoras en ondas decamétricas.**

11. Recomendación UIT-R F.162 – **Utilización de antenas transmisoras directivas en el servicio fijo que funcionan en las bandas de frecuencias por debajo de unos 30 MHz.**
12. Recomendación UIT-R P.372 – **Ruido de radioeléctrico.**
13. Recomendación UIT-R P.533 – **Método para la predicción de la propagación de las ondas decamétricas.**
14. Recomendación UIT-R P.845 – **Medición de la intensidad de campo en ondas decamétricas.**
15. Recomendación UIT-R P.1057 – **Distribuciones de probabilidad para establecer modelos de propagación de las ondas radioeléctricas.**
16. Recomendación UIT-R P.1239 – **Características ionosféricas de referencia del UIT-R.**
17. Recomendación UIT-R P.1546 – **Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz.**
18. Recomendación UIT-R SM.182 – **Comprobación automática de la ocupación del espectro de frecuencias radioeléctricas.**
19. Recomendación UIT-R SM.328 – **Espectros y anchuras de banda de las emisiones.**
20. Recomendación UIT-R SM.329 – **Emisiones no deseadas en el dominio no esencial.**
21. Recomendación UIT-R SM.331 – **Ruido y sensibilidad de los receptores.**
22. Recomendación UIT-R SM.332 – **Selectividad de los receptores**
23. Recomendación UIT-R SM.378 – **Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica.**
24. Recomendación UIT-R SM.443 – **Mediciones de anchura de banda en las estaciones de comprobación técnica de las emisiones.**

25. Recomendación UIT-R SM.1045 – **Tolerancia de frecuencia en los transmisores.**
26. Recomendación UIT-R SM.1050 – **Tareas que ha de realizar el estudio de comprobación técnica de las emisiones.**
27. Recomendación UIT-R SM.1053 – **Métodos para mejorar la exactitud de la radiogoniometría en ondas decamétricas en estaciones fijas.**
28. Recomendación UIT-R SM.1139 – **Sistema de comprobación técnica internacional de las emisiones**
29. Recomendación UIT-R SM.1268 – **Método de medición de la máxima desviación de frecuencia de las emisiones de radiodifusión a utilizar en las estaciones de comprobación técnica.**
30. Recomendación UIT-R SM.1269 – **Clasificación de las marcaciones radiogoniométricas.**
31. Recomendación UIT-R SM.1536 – **Medición de la ocupación de canales de frecuencias.**
32. Recomendación UIT-R TF.767 – **Utilización de los sistemas globales de navegación por satélite para la transferencia de señales horarias de gran precisión.**
33. Recomendación UIT-R TF.768 – **Frecuencias patrón y señales horarias.**

