

MANUAL DE GESTIÓN NACIONAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Monitoreo del espectro radioeléctrico

Título V



MinTIC
Ministerio de Tecnologías de la Información
y las Comunicaciones

ANE 
Agencia Nacional del Espectro

TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1. La necesidad de monitoreo, vigilancia y control del espectro radioeléctrico	17
1.1 Alcance e introducción	17
1.2 Estructura de un organismo de gestión del espectro y sus responsabilidades ...	18
1.2.1 Estructura del organismo encargado de la gestión y verificación del espectro, particularmente desde una perspectiva internacional	18
1.2.1.1 Descripción de la gestión del espectro	18
1.2.1.2 Fundamento legal y regulatorio de un sistema nacional de gestión del espectro	18
1.2.1.3 Departamentos principales de un organismo de gestión del espectro	21
1.2.2 Estructura del organismo que se encarga de la gestión del espectro y su verificación según lo implementado en Colombia, con base en la Ley 134 de 2009.....	22
1.2.2.1 Monitoreo, vigilancia y control del espectro radioeléctrico en Colombia	22
1.2.2.2 Funciones del MinTIC	22
1.2.2.3 Funciones de la ANE	26
1.2.2.4 Funciones de la ANTV	29
1.2.2.5 Integración de las actividades con fines de monitoreo, vigilancia y control ...	29
1.3 Funciones de verificación del uso del espectro radioeléctrico.....	30
1.3.1 Necesidad de verificación	30
1.3.2 Papel de monitoreo del espectro	31

1.3.3 Papel de la inspección	32
1.3.4 Papel de la vigilancia.....	33
1.4 Relación con otras entidades de la organización para la gestión del espectro ...	33
1.4.1 La relación entre el monitoreo y la gestión del espectro	33
1.4.2 Conclusión de la visión general de las relaciones	34
 Capítulo 2. Organización	 36
2.1 Introducción	36
2.2 Estructura nacional	36
2.2.1 Infraestructura de monitoreo	37
2.2.2 Principios para construir una red de monitoreo	39
2.3 Interconexión	40
2.4 Actividades de monitoreo, inspección e investigación y su interrelación	41
2.4.1 La relación entre monitoreo e inspección	41
2.4.2 Relación entre el monitoreo y la investigación	42
2.4.3 Relación entre la inspección y la investigación	42
2.4.4. Cooperación con otras entidades	42
2.5 Tareas de un servicio de monitoreo	42
2.5.1 Tareas derivadas del Reglamento de Radio (RR)	42
2.5.2 Tareas a nivel nacional	43
2.6 Tareas de un servicio de inspección	44
2.7 Tareas de la actividad de investigación	45
2.8 Planes anuales de trabajo	46
2.8.1 Plan anual de trabajo de monitoreo	46
2.8.1.1 Plan Anual de Monitoreo	47
2.8.1.2 Plan Operacional de Monitoreo	48
2.8.1.3 Financiamiento del Departamento de Monitoreo	49
2.8.1.4 Personal de monitoreo	50
2.8.1.5 Entrenamiento	52
2.8.2 Plan Anual de Inspección	52
2.8.3. Plan Anual de Investigación	53
2.9 Principios de trabajo	53
2.10 Bases de datos	53
2.10.1 Monitoreo	54
2.10.2 Inspección	54
2.10.3 Interferencias	54
2.10.4 Uso ilegal	55
2.11 Acceso a varias bases de datos	55

Capítulo 3. Monitoreo	56
3.1 Introducción	56
3.2 El papel del monitoreo	56
3.3 Mediciones	59
3.3.1 Introducción	59
3.3.2 Principios básicos para las mediciones	59
3.3.2.1 Mediciones en el dominio del tiempo y la frecuencia	59
3.3.2.2 Medición vectorial en el dominio de fase y amplitud	62
3.3.2.3 Incertidumbre de medición	63
3.3.3 Mediciones de la ocupación del espectro	70
3.3.3.1 Observaciones generales	70
3.3.3.2 Técnicas de medición	71
3.3.3.3 Receptores para el monitoreo de ocupación del espectro	74
3.3.3.4 Principios básicos y parámetros de medición	75
3.3.3.5 Mediciones en las bandas de frecuencia	84
3.3.3.6 Presentación y análisis de los datos recopilados	89
3.3.3.7 Intercambio de datos	95
3.3.4 Modulación/Desviación	96
3.3.4.1 Introducción	96
3.3.4.2 Modulación análoga	97
3.3.4.3 Modulación digital	102
3.3.4.4 Multiplexado por división de frecuencia ortogonal codificada (COFDM)	108
3.3.5 Medidas de la intensidad de campo (incluyendo potencia y medidas de la PFD)	110
3.3.5.1 Introducción	110
3.3.5.2 Cantidades y unidades de medida	112
3.3.5.3 Equipos para la medición de intensidad de campo o PFD	117
3.3.5.4 División en rangos de frecuencia	119
3.3.5.5 Elección de sitios de medida	121
3.3.5.6 Métodos de medida	123
3.3.5.7 Medidas en un punto de medición fijo	126
3.3.5.8 Mediciones a lo largo de una ruta	127
3.3.5.9 Comparación de datos medidos y calculados	131
3.3.5.10 Evaluación, procesamiento y documentación de los resultados de medición ..	135
3.3.5.11 Técnica FFT para mediciones de la intensidad de campo	139
3.3.5.12 Calibración de los instrumentos y de las antenas de medición	139
3.3.6 Medidas del ancho de banda	145
3.3.6.1 Consideraciones generales	145
3.3.6.2 Métodos de medición del ancho de banda	149

3.3.6.3	Condiciones a tener en cuenta para las mediciones del ancho de banda	160
3.3.6.4	Efecto de interferencia	162
3.3.6.5	Efectos de ruido	164
3.3.6.6	Medición práctica del ancho de banda	166
3.3.6.7	Ejemplo de un método de medida de ancho de banda ocupada usando un analizador de espectro	168
3.3.7	Medición de la cobertura	171
3.3.7.1	Introducción	171
3.3.7.2	Propósito de llevar a cabo mediciones de la cobertura	172
3.3.7.3	Predicción de la cobertura	173
3.3.7.4	Principio de medición básico	174
3.3.7.5	Montaje de medición	174
3.3.7.6	Verificación de la cobertura	175
3.3.8	Mediciones de la frecuencia	176
3.3.8.1	Introducción	176
3.3.8.2	Métodos convencionales más comunes de medición de frecuencias aplicados en las estaciones de monitoreo internacional	180
3.3.8.3	Métodos basados en DSP para la medición de frecuencia aplicados en las estaciones de monitoreo internacional	183
3.3.9	Análisis de la señal e identificación del transmisor	189
3.3.9.1	Introducción	189
3.3.9.2	Identificación con señal de llamada o mediciones básicas de señal	193
3.3.9.3	Enfoque general del proceso de análisis de señal	197
3.3.9.4	Consideraciones en cuanto a las capacidades de un sistema para realizar análisis de señales	199
3.3.9.5	Herramientas para el análisis de señales	201
3.3.9.6	Ánalisis de señales con el fin de identificar las señales transmitidas	213
3.3.9.7	Llamada selectiva en el servicio móvil marítimo y móvil marítimo por satélite	220
3.3.9.8	Los caracteres de código complementarios, símbolos sexto y séptimo	223
3.3.10	Medición de microondas	224
3.3.10.1	Radar	224
3.3.10.2	Monitoreo de enlaces microondas y de enlaces satelitales ascendentes	248
3.3.10.3	Monitoreo de sistemas celulares	271
3.3.11	Monitoreo de las emisiones de naves espaciales	292
3.3.11.1	Tareas y mediciones para llevar a cabo	292
3.3.11.2	Técnicas de medición	297
3.3.11.3	Equipo y requisitos de las instalaciones	316
3.3.11.4	Documentación y bases de datos soporte para el monitoreo espacial	326

3.3.11.5 Identificación de estaciones espaciales y geolocalización de estaciones terrenas	328
3.3.11.6 Soluciones técnicas por ejemplos	337
3.3.11.7 Resultados de monitoreo con ejemplos	362
3.3.12 Análisis del uso libre del espectro radioeléctrico (por ejemplo, dispositivos de corto alcance (SRD)	372
3.3.12.1 Introducción	372
3.3.12.2. Descripción técnica de los principales aspectos a considerar al monitorear los SRD	373
3.3.12.3 Análisis de datos y presentación	383
Capítulo 4. Inspección	388
4.1 Introducción	388
4.2 Rol de la inspección	389
4.3 Inspecciones para asistir en las actividades de licenciamiento	390
4.4 La inspección como actividad de control	390
4.5 Inspección de las estaciones (relacionada con un grupo de usuarios)	392
4.5.1 Inspecciones a “todas las estaciones”	392
4.5.2 Inspecciones motivadas	393
4.5.3 Muestreo	393
4.5.4 Inspecciones limitadas, también llamadas inspecciones remotas	393
4.5.5 Inspecciones basadas en riesgo	394
4.5.6 Inspecciones aleatorias	394
4.6 Inspecciones en sitio	395
4.6.1 Equipo	395
4.6.2 Parámetros técnicos	397
4.6.3 Revisión de registros existentes	398
4.6.4 Procedimientos detallados e información para la optimización y racionalización de las actividades de inspección	399
4.6.4.1 Una estructura formal de planeación de actividades de inspección	400
4.6.4.2 Criterios estadísticos para la determinación del tamaño de la muestra de inspección	401
4.7 Inspecciones remotas	402
4.7.1 Potencia radiada efectiva e intensidad de campo	403
4.7.2 Medición de emisiones espurias	404
4.7.3 Mediciones de la máscara	405
4.7.4 Mediciones de frecuencia	406
4.7.5 Mediciones de tendencia	407

Título V — Monitoreo del espectro radioeléctrico

4.7.6 Comparación de las medidas de intensidad de campo con valores calculados	407
4.8 Plan anual de inspección	410
Capítulo 5. Uso ilegal del espectro radioeléctrico	412
5.1 Introducción	412
5.2 Vigilancia del espectro radioeléctrico	412
5.3 Cooperación con otras autoridades gubernamentales	416
5.4 Campaña sobre el uso ilegal	416
5.5 Confiscación de equipo ilegal	417
Capítulo 6. Manejo de interferencia	418
6.1 Introducción	418
6.2 Organización para el manejo de interferencias	418
6.3 Directrices para la resolución de interferencia perjudicial nacional	419
6.4 Pautas para la resolución de la interferencia perjudicial internacional	420
6.5 Indicadores de la calidad de servicio (QSI)	420
6.6 Medidas correctivas	421
Listado de términos y definiciones en inglés	424
Bibliografía para lectura adicional	428
Lista de fuentes de referencia de UIT-R y UIT-T usadas en este título	433

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1	Modos de propagación y usos para varias bandas de frecuencia	65
TABLA 2	Valores de cantidades de entrada entre 30 MHz y 3000 MHz	66
TABLA 3	Tabla de muestras independientes y dependientes	76
TABLA 4	Velocidades de símbolo y anchos de banda de sistemas de una sola portadora.....	103
TABLA 5	Detector y funciones estadísticas y anchos de banda para los respectivos tipos de señal.....	119
TABLA 6	Número requerido de muestras dependiendo de Emax – Emin.....	127
TABLA 7	El valor empírico derivado del nivel de “x-dB” en el cual los anchos de banda “x-dB” y anchos de banda ocupados se encuentran cerca unos de otros	157
TABLA 8	Cálculo del ancho de banda ocupado	170
TABLA 9	Métodos de medición de frecuencia	179
TABLA 10	Algunos métodos para extraer información técnica de acuerdo con la modulación de la señal analizada.....	204
TABLA 11	Algunos métodos para determinar parámetros avanzados de la señal dependiendo de la modulación de la señal analizada.....	207
TABLA 12	Conversión de dígitos en frecuencia.....	220
TABLA 13	Vista general de algunos sistemas conocidos y sus parámetros específicos..	224
TABLA 14	Ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de radar	229
TABLA 15	Principales bandas de frecuencias para sistemas de radar	234
TABLA 16	Presupuesto de enlace	244
TABLA 17	Comparación de microondas con propagación de línea de vista (LoS) o de dispersión troposférica	250
TABLA 18	Parámetros de las emisiones para mediciones adicionales.....	256

TABLA 19 Presupuesto de interferencia del transmisor para un enlace video digital interferido por una microonda terrestre (los transmisores operan en la misma frecuencia).....	266
TABLA 20 Características de interfaz aérea de los sistemas de radio celular digital	275
TABLA 21 Características de la interfaz de aire de sistemas de comunicación personal.....	277
TABLA 22 Características de la interfaz de aire de los sistemas con tecnología WiMAX y LTE	280
TABLA 23 Características de la interfaz de aire de los sistemas UMTS	294
TABLA 24 Factores a considerar en la realización de actividades de monitoreo que tengan que ver con las señales satelitales	295
TABLA 25 Tareas y su esfera de influencia con respecto al concepto técnico de estación de monitoreo para los servicios espaciales.....	316
TABLA 26 Ejemplo de las características del sistema de recepción.....	323
TABLA 27 Equipos periféricos	324
TABLA 28 Características de referencia	329
TABLA 29 Distancia entre dos antenas (del mismo tamaño) con línea de vista (LoS) despejada hacia los satélites.....	339
TABLA 30 Especificaciones técnicas prácticas de las antenas de monitoreo satelital	345
TABLA 31 Equipo de recepción de un sistema de antena	350
TABLA 32 Modos de funcionamiento de un sistema de control de antena	357
TABLA 33 Comparación entre los elementos orbitales de referencia y los elementos orbitales calculados (determinación de la órbita inicial)	366
TABLA 34 Resultado de geolocalización de elipse correspondiente a la Figura 132	371
TABLA 35 Relación entre las tareas de monitoreo y el monitoreo de los SRD	373
TABLA 36 Resumen de tipo de SRD y su posible ubicación	374
TABLA 37 Valores de umbral para los analizadores de espectro.....	378
TABLA 38 Relación entre la potencia y la distancia para las RFIDS.....	382
TABLA 39 Resultados de ocupación a través de mediciones en diferentes lugares	384
TABLA 40 Resumen de equipos y parámetros medidos.....	398
TABLA 41 Metodología en relación con la precisión y mediciones/estimaciones	403
TABLA 42 Ejemplo de los indicadores de la calidad de servicio (QSI).....	422

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1	Sistema simplificado de gestión nacional del espectro.....	20
FIGURA 2	Estructura organizacional del MinTIC.....	23
FIGURA 3	Estructura organizacional de la ANE	27
FIGURA 4	Estructura organizacional de la ANTV	29
FIGURA 5	Sistema de gestión automatizada de frecuencia del espectro.....	37
FIGURA 6	Redes de un sistema integrado de monitoreo	38
FIGURA 7	El monitoreo dentro del proceso de gestión del espectro	58
FIGURA 8	Señales periódicas en dominios de tiempo y frecuencia	60
FIGURA 9	Algunas señales aperiódicas en dominios de tiempo y frecuencia	61
FIGURA 10	Comparación de diferentes tiempos de nuevas visitas.....	72
FIGURA 11	Ejemplo de monitoreo Delta.....	74
FIGURA 12	Una señal de intensidad variable típica	76
FIGURA 13	Ejemplo de la determinación de transmisores fijos.....	80
FIGURA 14	Determinación del silenciador dinámico	82
FIGURA 15	Variación de ruido-HF durante un día	83
FIGURA 16	Ejemplo de monitoreo de canal estático	87
FIGURA 17	Espectrograma	90
FIGURA 18	Curvas mínimas, máximas y medias	91
FIGURA 19	Imagen de mediciones de HF combinada con resultados de monitoreo manual	91
FIGURA 20	Ejemplo de una medición de ocupación del canal.....	92
FIGURA 21	Ejemplo de una vista rápida de mediciones de ocupación del canal	93
FIGURA 22	Ejemplo de una medición de banda de frecuencia	93
FIGURA 23	Informe de ocupación en un solo canal.....	94

FIGURA 24	Diagrama general en bloques de un analizador de modulación	98
FIGURA 25	Señales de entrada y salida del demodulador de AM	98
FIGURA 26	Diagrama en bloques de un analizador de modulación angular	100
FIGURA 27	Diagrama de constelación de una señal 8-PSK	104
FIGURA 28	Diagrama vectorial de una señal de 8-PSK	105
FIGURA 29	Espectros de señales digitales filtradas de una sola portadora.....	105
FIGURA 30	Diagrama vectorial e I/Q en el dominio del tiempo de una señal QPSK no filtrada.....	106
FIGURA 31	Diagrama vectorial e I/Q en el dominio del tiempo de una señal QPSK con filtrado de Coseno	107
FIGURA 32	Ejemplo de medición de error de modulación	108
FIGURA 33	Parte de un espectro de COFDM con alta resolución	109
FIGURA 34	Límites de los campos	113
FIGURA 35	Niveles previstos (amarillo) y niveles medidos (verde o rojo) entre 87,6 y 89,9 MHz de una estación RM.....	134
FIGURA 36	Definición de ancho de banda ocupado como se formula en el artículo 1, No. 1.153 del RR [17]	147
FIGURA 37	Relación entre el porcentaje de error (ν) al medir el ancho de banda ocupado y el porcentaje de error (ν) en la comparación de la potencia para distintos valores N.....	150
FIGURA 38	Medición del error de ancho de banda en “x-dB”	161
FIGURA 39	Distribución espectral sin interferencia	162
FIGURA 40	Distribución espectral con interferencia	163
FIGURA 41	Relaciones entre W/U, A' y B'	164
FIGURA 42	Distribución espectral con ruido aleatorio.....	165
FIGURA 43	Espectro de una emisión F1B en 123,7 kHz con 50 baudios y 200 Hz de desviación, para calcular el ancho de banda ocupado	169
FIGURA 44	Muestra de una medición a lo largo de una ruta dentro de un área de referencia.....	175
FIGURA 45	Método directo de Lissajous.....	181
FIGURA 46	Espectros de una señal DVB-T	182
FIGURA 47	Espectro FFT de un canal MF-BC.....	188

FIGURA 48	Tareas básicas para la identificación del transmisor	191
FIGURA 49	Identificación del transmisor	192
FIGURA 50	Proceso de análisis de señales	198
FIGURA 51	Ejemplo de extracción de una señal de banda estrecha de una señal de banda ancha	200
FIGURA 52	Ejemplos de interfaces específicas para apoyar el análisis, identificación y medición.....	202
FIGURA 53	Ejemplo de caracterización de señal con salto de frecuencia	203
FIGURA 54	Ejemplo de la determinación la velocidad de símbolo de una señal 16QAM por su amplitud instantánea	205
FIGURA 55	Ejemplo de la determinación de la velocidad de símbolo de una señal 2 FSK por su frecuencia instantánea elevada a la segunda potencia	206
FIGURA 56	Ejemplos de una caracterización completa de una señal digital.....	208
FIGURA 57	Ejemplo de un demodulador digital con analizador de flujo de bits y decodificador	209
FIGURA 58	Correlacionador cruzado para el análisis de interferencia.....	210
FIGURA 59	Ilustración de los resultados obtenidos en el análisis de interferencia y separación de fuentes de canales de tráfico (TCH) GSM, utilizando técnicas adaptativas en señales GSM en áreas urbanas	212
FIGURA 60	Diagrama de flujo de identificación paramétrica	215
FIGURA 61	Identificación de señal VOR	216
FIGURA 62	Señal con modulación que cambia con el tiempo	217
FIGURA 63	Diagrama de flujo para la identificación con la ayuda de señales	219
FIGURA 64	Pulso típico de radar	225
FIGURA 65	Diagrama esquemático de un radar con un amplificador de potencia	227
FIGURA 66	Principio de un radar FM-CW.....	231
FIGURA 67	Ambigüedad de pulsos detectados.....	232
FIGURA 68	Clasificación de acuerdo con el uso del radar.....	232
FIGURA 69	Radar de búsqueda aérea de largo alcance y antena con radar secundario en la parte superior.....	233
FIGURA 70	Diagrama esquemático para la medición de características típicas de radar en el mismo radar.....	237

FIGURA 71	Diagrama esquemático para medición de las características del radar mediante su interfaz de radio (medición de espacio libre).....	238
FIGURA 72	Medición de pulsos de un radar de búsqueda aérea de largo alcance.....	239
FIGURA 73	Ejemplo de máscara de espectro calculada	242
FIGURA 74	Configuración de la medición	245
FIGURA 75	Corrección de nivel en la frecuencia central del radar.....	245
FIGURA 76	Proceso de correlación	246
FIGURA 77	Máscara UIT y señal del radar	247
FIGURA 78	Ejemplo de pulso modulado en fase.....	248
FIGURA 79	Tipos de propagación	249
FIGURA 80	Comparacion de espectros de radiofrecuencia AMR y DMR	252
FIGURA 81	Agrupación de frecuencias (FDM).....	253
FIGURA 82	Multiplexación en el Tiempo	254
FIGURA 83	Sistema de interceptación directa	257
FIGURA 84	Sistema de interceptación utilizando mezcladores de RF	258
FIGURA 85	Unidad de monitoreo de microondas	259
FIGURA 86	Ganancia típica de una antena log-periódica direccional calibrada con un reflector de 60 cm de diámetro, en función de la frecuencia	260
FIGURA 87	Interferencia potencial entre los enlaces por satélite y los enlaces de microondas terrestres que utilizan la misma banda de frecuencias.....	264
FIGURA 88	Geometría de interferencia para interferencia terrestre en recepción, en una estación terrena con una antena de gran diámetro	266
FIGURA 89	Ejemplo de un vehículo de monitoreo capaz de recibir señales de direcciones espaciales y terrestres	269
FIGURA 90	Diagrama de bloques para la solución de correlación cruzada.....	269
FIGURA 91	Superficie de correlación cruzada.....	270
FIGURA 92	Arquitectura de red GSM.....	273
FIGURA 93	Principales componentes de los sistemas MSS.....	279
FIGURA 94	Ejemplo de un sistema de medición para redes de radio celular.....	284
FIGURA 95	Múltiples conexiones DECT no sincronizadas en la misma frecuencia....	287
FIGURA 96	Identificación de las estaciones base en una red UMTS	292

FIGURA 97	Principales relaciones en el caso del Efecto Doppler de desplazamiento	298
FIGURA 98	Cálculo de la frecuencia del satélite a partir de la curva de Doppler.....	300
FIGURA 99	Cálculo de la frecuencia de satélite por la diferenciación de la curva de Doppler.....	301
FIGURA 100	Geolocalización de los transmisores terrestres con TDOA y FDOA de dos satélites en órbita geoestacionaria	306
FIGURA 101	Geolocalización de los transmisores terrestres con TDOA y FDOA de dos satélites de geoestacionarios utilizando un transmisor de referencia .	310
FIGURA 102	Predicciones mejoradas de la frecuencia con la refinación de los elementos orbitales	314
FIGURA 103	Diagrama de bloques para el monitoreo por debajo del piso de ruido	315
FIGURA 104	Ganancia de antena ancho del haz de 3 dB y precisión de apuntamiento en función de la frecuencia para diferentes diámetros del reflector parabólico y una eficiencia de antena del 55%.....	320
FIGURA 105	Separación entre antenas para monitoreo de satélites GSO	338
FIGURA 106	Elevación de las antenas para monitoreo de satélites no GSO	339
FIGURA 107	Antena de 9 m, de movimiento limitado con pedestal Kingpost y tornillos niveladores en azimut y elevación	341
FIGURA 108	Ejemplo de una antena de cabezal giratorio de 9,3 m.....	341
FIGURA 109	Relación entre la órbita del satélite, la elevación y la velocidad del ángulo de azimut en función de la altitud de la órbita y el ángulo de elevación	342
FIGURA 110	Antena Cassegrain con guía de onda, con elevación por encima del pedestal de azimut y dos cabinas para las instalaciones receptoras en la parte trasera del plato	343
FIGURA 111	Antena de 7 m X-Y de foco primario.....	344
FIGURA 112	Ejemplo de la alimentaciones separadas con alimentación móvil y disposición de reflector selectivo para tres bandas de frecuencia en una antena de 12 m con guía de onda	346
FIGURA 113	Ejemplo alimentación fija con reflectores selectivos móviles para seleccionar 5 bandas de frecuencia a una antena de 12 m.....	347

FIGURA 114	Ejemplo de sistema de alimentación múltiple tipo revólver con 6 alimentadores para una antena con guía de onda	347
FIGURA 115	Alimentación múltiple montada en foco primario.....	348
FIGURA 116	Alimentación múltiple en caja al aire libre.....	348
FIGURA 117	Alimentación sin caja al aire libre montada en torno a posicionador de alimentación	348
FIGURA 118	Ejemplo de una combinación de tres bandas de frecuencia en una antena de 12 m.....	349
FIGURA 119	Ejemplo de alimentación con dos bandas de frecuencia muy próximas entre sí	350
FIGURA 120	Ejemplo de un sistema de alimentación con acoplador de seguimiento y polarizador.....	351
FIGURA 121	Integración del equipo de monitoreo.....	352
FIGURA 122	Ejemplo de un equipo de monitoreo de satélite automatizado	353
FIGURA 123	Ejemplo de una captura de pantalla de monitoreo del espectro en el equipo de seguimiento satelital	356
FIGURA 124	Procedimiento para el cálculo de geolocalización en el computador host.....	358
FIGURA 125	Proceso secuencial de monitoreo	360
FIGURA 126	Registro de ocupación de frecuencia, determinación aproximada del tiempo de revolución.....	363
FIGURA 127	Búsqueda en la base de datos de la NASA-SSR.....	364
FIGURA 128	Ventanas de visibilidad en el registro de ocupación de frecuencias	365
FIGURA 129	Comparación entre los ángulos de la antena calculada a partir de elementos de referencia orbital y los elementos orbitales medidos	366
FIGURA 130	Medidas de ocupación del transpondedor	368
FIGURA 131	Inclinación de los satélites geoestacionarios (Figura de “8”)	369
FIGURA 132	Resultados de geolocalización de una estación terrena transmitiendo a un satélite GSO (1)	370
FIGURA 133	Resultados de geolocalización de una estación terrena transmitiendo a un satélite GSO (2)	371
FIGURA 134	Definiciones.....	375

FIGURA 135	Ejemplo de medición móvil.....	378
FIGURA 136	Intensidad de campo vs distancia de espacio libre	379
FIGURA 137	Intensidad de campo versus distancia de espacio libre con atenuación de 20 dB	380
FIGURA 138	Intensidad de campo vs distancia para etiquetas RFID	381
FIGURA 139	Registro del espectro 863-870 MHz típico en un área RFID poblada.....	386
FIGURA 140	Registro del espectro 863-870 MHz típico en un área urbana poblada.....	387
FIGURA 141	Visión general de los diferentes tipos de inspección de estaciones de radio	391
FIGURA 142	Patrón de la antena de transmisión para una señal deseada y una espuria	405
FIGURA 143	Simulación detallada de la medición de máscara de espectro como resultado de las mediciones automáticas de ocupación de bandas de frecuencias	406
FIGURA 144	Medición de tendencia desde estación de monitoreo remoto “Axel”	408
FIGURA 145	Espectrograma y punto min/med/max incluyendo valores calculados.....	409
FIGURA 146	Intensidad de campo en el tiempo, distribución y espectro	409
FIGURA 147	Registros de la medición automática de bandas de frecuencias de teléfonos inalámbricos ilegales	415



CAPÍTULO 1

LA NECESIDAD DE MONITOREO, VIGILANCIA Y CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

1.1 Alcance e introducción

La verificación del espectro radioeléctrico tiene que ver con el conjunto de acciones y sanciones que se pueden aplicar para fortalecer el cumplimiento de las leyes y regulación nacional y lograr la mejor calidad posible en las radiocomunicaciones, para los usuarios legítimos del espectro radioeléctrico. Esto incluye tomar medidas necesarias contra las actuales y potenciales fuentes de interferencia, y contra el uso no autorizado. Dentro de las actividades propias de verificación se incluyen el monitoreo, la inspección de los equipos de radio, la investigación y la vigilancia del mercado.

La gestión efectiva del espectro depende de la capacidad de la administración para controlar su uso a través de la verificación del cumplimiento con la regulación relevante. El propósito de la verificación por medio del monitoreo, vigilancia y control es fortalecer el proceso de gestión del espectro y le debe servir de apoyo directo. Por lo anterior, estas actividades deben estar siempre ligadas a la autoridad de la gestión del espectro y estar sujetas a las prioridades generales del programa de gestión. De hecho, la verificación del espectro cierra el espiral de este proceso.

El alcance de este título busca ofrecer, en los siguientes capítulos, la información necesaria en cuanto a cómo se pueden llevar a cabo las actividades de verificación del espectro radioeléctrico; cómo estas actividades pueden ser estructuradas; cómo tratar con el uso ilegal del espectro y con las interferencias denunciadas; cómo puede perfeccionarse la calidad al gestionar la interferencia, mediante la implementación de indicadores de calidad del

servicio (Quality of Service, QOS, por sus siglas en inglés); y qué tipo de medidas correctivas son aplicables.

Aunque algunas de las mediciones y actividades presentadas en este título no se realizan actualmente en Colombia, se incluyen con el fin de presentarlas o para que sirvan de guía en caso de que se tome la decisión de implementarlas en el país.

1.2 Estructura de un organismo de gestión del espectro y sus responsabilidades

1.2.1 *Estructura del organismo encargado de la gestión y verificación del espectro, particularmente desde una perspectiva internacional*

1.2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA GESTIÓN DEL ESPECTRO

La gestión del espectro es la combinación de los procedimientos administrativos, científicos y técnicos necesarios para asegurar la operación eficiente de los equipos de radiocomunicación y la prestación de servicios sin causar interferencia. En términos simples, la gestión del espectro es el proceso mediante el cual se regula y administra el uso de las frecuencias del espectro radioeléctrico para maximizar su eficiencia y minimizar la interferencia. Las normas y reglamentos, basados en una legislación vigente, conforman la base jurídica para el proceso de gestión, y las bases de datos de información, que incluyen información detallada de todos los usuarios autorizados del espectro, constituyen la base administrativa y técnica del proceso. El análisis de la información en estas bases de datos facilita el proceso de gestión, permitiendo la toma de decisiones en cuanto a la atribución del espectro, la asignación de frecuencias y el otorgamiento de permisos. El monitoreo del espectro, la inspección y la vigilancia del cumplimiento de las leyes que lo regulan, proporcionan los medios necesarios para mantener la integridad en el proceso de gestión.

1.2.1.2 FUNDAMENTO LEGAL Y REGULATORIO DE UN SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL ESPECTRO

Debido al rápido avance de la tecnología y al papel fundamental que esta juega en la vida de cada nación, las leyes que regulan el recurso del espectro han llegado a ser tan importantes como aquellas que gobiernan el uso de la tierra y del agua. Por lo tanto, el uso y regulación de las radiocomunicaciones deben estar cobijados bajo el sistema legal de cada nación. En este sentido, la ley de radiocomunicaciones se constituye en el documento esen-

cial que establece los conceptos, autoridades, metas, objetivos generales y responsabilidades, teniendo cuidado de no constituirse en una simple delineación detallada de reglas y procedimientos. Esta ley debe reconocer el hecho de que el espectro radioeléctrico es un recurso nacional y que hay que gobernarlo en el interés de todos los ciudadanos. Por lo tanto, la ley debe establecer el derecho del Gobierno Nacional para regular el uso de las radiocomunicaciones, incluyendo el permiso para el uso y la aplicación de la normatividad de gestión del espectro, apoyándose principalmente en el monitoreo y la inspección. Para realizar estas funciones, la autoridad de la gestión del espectro debe estar revestida de la autoridad necesaria que le permita identificar las fuentes de interferencia y requerir que sean desactivadas o confiscadas, mediante los mecanismos legales adecuados, sin traspasar los límites de autoridad que deben también ser especificados dentro de la ley.

La ley de radiocomunicaciones debe establecer el derecho de los ciudadanos y del Gobierno de tener y operar equipos de radiocomunicaciones. El Gobierno Nacional, regional o local puede operar mejor algunos sistemas de comunicación. Normalmente, estos son sistemas que apoyan las misiones del Gobierno y las organizaciones. Sin embargo, muchas de las necesidades de la sociedad se pueden lograr a través de emprendimientos comerciales o individuales, y la calidad y disponibilidad de los servicios de comunicaciones pueden estar estrechamente ligados a los tipos de actividad y al nivel de libertad que se otorguen a los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

Otros elementos que también deben estar cubiertos por la ley nacional de radiocomunicaciones son los requisitos para el acceso público al proceso de toma de decisiones de la gestión del espectro y la respuesta del Gobierno a lo que dice el público. El proceso específico mediante el cual el público presenta sus requerimientos a la administración con respecto al espectro o su posición frente a los asuntos del espectro, puede ser descrito en otra parte, pero el derecho al acceso y cualquier limitación al mismo podrían establecerse en la ley. Con base en la misión principal de la autoridad de la gestión del espectro, que es administrar el uso del espectro en el interés nacional, es esencial que responda a la opinión pública. Por lo tanto, la ley de radiocomunicaciones debe requerir que la autoridad de la gestión del espectro informe al público sobre sus decisiones, incluyendo explicación escrita de los fundamentos de sus decisiones. Adicionalmente, la ley debe proporcionar un proceso para la revisión y apelación de las decisiones de acuerdo con los criterios y el procedimiento establecidos.

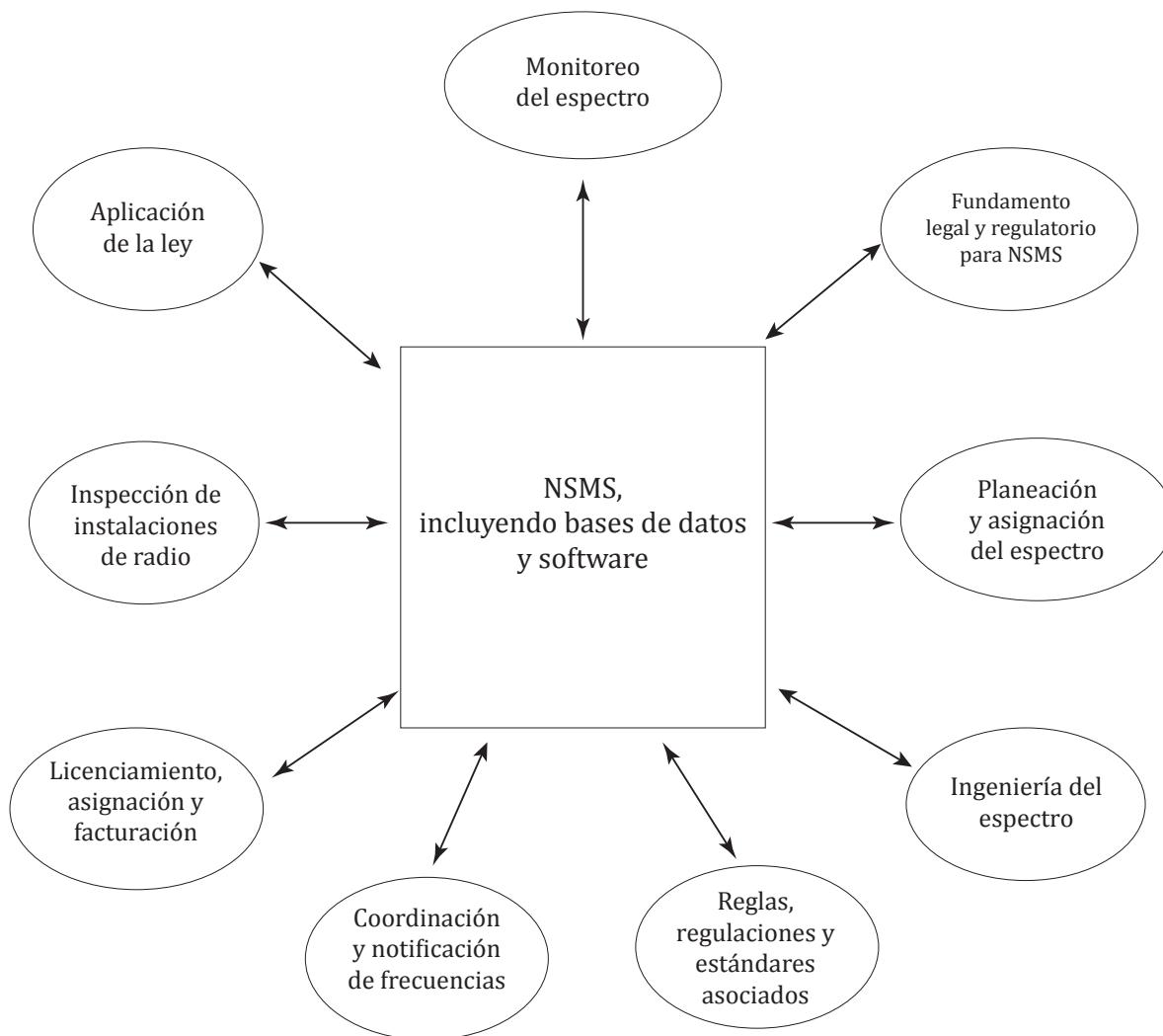
En el día a día, las herramientas de la gestión del espectro radioeléctrico son el conjunto de normas y procedimientos adoptados y promulgados por la autoridad nacional del espectro. Tales regulaciones determinan la conducta diaria en relación con el uso de las radiocomunicaciones y permiten a los usuarios del espectro comprender la forma como se rigen sus actuaciones. El reglamento establece un método de interacción con la autoridad de gestión del espectro. Estas normas y procedimientos deben cubrir áreas tales como los procedimientos para la obtención y renovación de la licencia (permiso para el uso del espectro

radioeléctrico, en Colombia), los parámetros técnicos de emisión, los procedimientos de autorización de los equipos de radiocomunicación, planes de canalización y los requisitos operacionales.

En la Figura 1 se ilustra en forma simplificada los componentes de un sistema nacional de gestión de espectro (NSMS, por sus siglas en inglés).

FIGURA 1

Sistema simplificado de gestión nacional del espectro



1.2.1.3 DEPARTAMENTOS PRINCIPALES DE UN ORGANISMO DE GESTIÓN DEL ESPECTRO

En la estructura de un organismo de gestión del espectro se pueden identificar, generalmente, tres departamentos principales.

- Gestión/Planeación de Frecuencias.
- Licenciamiento.
- Verificación.

Estos tres departamentos, y sus dependencias, deben garantizar el uso adecuado del espectro, libre de interferencias.

El departamento que se ocupa de la gestión/planeación de frecuencia tiene, entre otras, las siguientes responsabilidades:

- Atribución.
- Armonización (participación en conferencias tanto regionales como mundiales del espectro radioeléctrico).
- Formulación de planes y normatividad.
- Ingeniería del espectro.
- Planes de frecuencia (incluyendo planes modelo).

El departamento que se ocupa del licenciamiento tiene, entre otras, las siguientes responsabilidades:

- Asignación de frecuencias.
- Expedición de licencias.
- Enlace y consulta nacional.

El departamento que se ocupa de la verificación tiene, entre otras, las siguientes responsabilidades:

- Verificación del uso del espectro.
- Control del uso apropiado del espectro.
- Vigilancia del espectro.

1.2.2 *Estructura del organismo que se encarga de la gestión del espectro y su verificación según lo implementado en Colombia, con base en la Ley 1341 de 2009*

1.2.2.1 MONITOREO, VIGILANCIA Y CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA

En Colombia, las responsabilidades de gestión, planeación, monitoreo, vigilancia y control del uso del espectro radioeléctrico se distribuyen entre las tres entidades que se mencionan a continuación, dependiendo de las diferentes funciones y responsabilidades otorgadas a cada una de ellas dentro del marco regulatorio actual (Ley 1341 de 2009, Ley 1507 de 2012 y las normas que las reglamentan). Los organismos a cargo de tales actividades son: El Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y la Autoridad Nacional de Televisión (ANTV).

La Ley 1341/2009 establece el marco regulatorio general para el sector de las tecnologías de la información y las comunicaciones (las TIC) en Colombia. Esta ley, así como el Decreto 91/2010 expedido por el MinTIC, ha establecido el objetivo general de este Ministerio¹ como cabeza administrativa de la política en relación con la sociedad de la información y la organización de las TIC. En relación con el espectro radioeléctrico, el objetivo del MinTIC consiste en llevar a cabo las actividades propias de la administración y gestión del espectro radioeléctrico con el apoyo técnico de la ANE, con excepción de la asignación del espectro radioeléctrico atribuido al servicio de radiodifusión televisión y del control y vigilancia sobre el uso de este recurso, que le corresponde a la ANTV.

De acuerdo con lo anterior, las secciones siguientes presentan una descripción más detallada de las funciones y responsabilidades de cada una de estas organizaciones, así como la estructura y los procesos generales asociados a las actividades de monitoreo, vigilancia y control del espectro radioeléctrico.

1.2.2.2 FUNCIONES DEL MINTIC

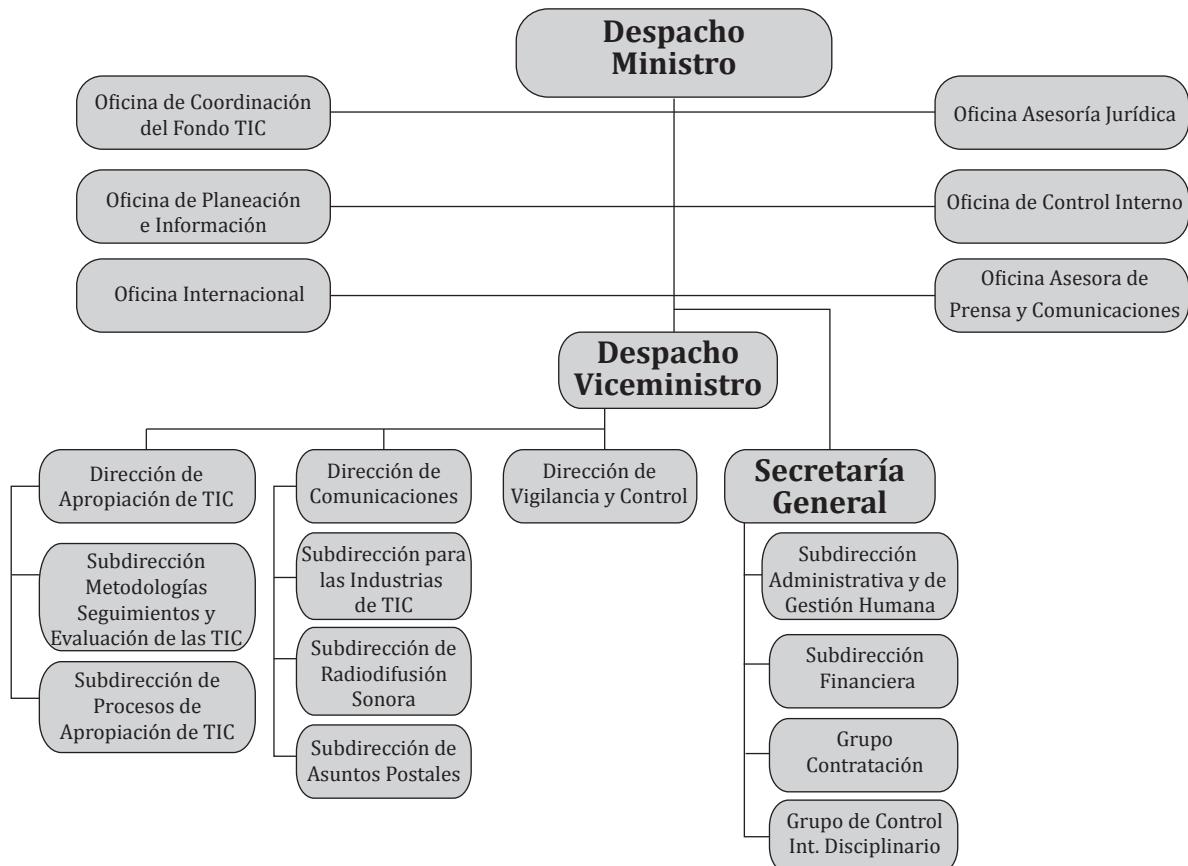
Para ofrecer una perspectiva más amplia de las responsabilidades del MinTIC y determinar tanto sus funciones específicas como sus responsabilidades en relación con el monitoreo, vigilancia y control del espectro radioeléctrico, a continuación se presenta una descripción más detallada de estas funciones y responsabilidades,² junto con un organigrama (ver Figura 2), que muestra la manera como la entidad desarrolla sus actividades de vigilancia y control.

¹ Véase Ley 1341/2009, Título III, artículo 17, numeral 4.

² Véase Ley 1341/2009, artículo 18.

FIGURA 2

Estructura organizacional del MinTIC



Fuente: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2012).

Organigrama. Recuperado el 19 de octubre de 2012 de

<http://www.mintic.gov.co/index.php/organigrama#Ministerio TIC>.

Además del objetivo general mencionado en la sección 1.2.2.1, el MinTIC tiene, entre otras, las siguientes responsabilidades relacionadas con la gestión del espectro:

- Asignar, gestionar y controlar el espectro radioeléctrico, con excepción del espectro usado para el servicio de radiodifusión televisión.

- Establecer y mantener actualizado el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias de Colombia,³ con base en las necesidades del país, del interés público y las nuevas atribuciones adoptadas en las conferencias mundiales de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, así como los planes técnicos para la radiodifusión sonora.
- Representar internacionalmente a Colombia en todos los asuntos relacionados con las TIC, especialmente mediante la interacción con las organizaciones de la industria, en coordinación con el Ministerio de Relaciones Exteriores y bajo la dirección del presidente de la República.
- Ejecutar los tratados y convenios que tengan que ver con las TIC ratificadas por el país, especialmente en los asuntos relacionados con el espectro radioeléctrico.
- Expedir, de acuerdo con la ley, los reglamentos, condiciones y requisitos para el otorgamiento de licencias, permisos y autorizaciones para el uso o explotación de los derechos del Estado sobre espectro radioeléctrico y los servicios en el sector de las TIC.
- Coordinar, de acuerdo con la ley, las funciones de vigilancia y control en el sector de las TIC.

Como se puede observar a partir de estas funciones, el MinTIC es la institución que lidera el manejo de todos los aspectos relacionados con el espectro radioeléctrico, tanto en el territorio nacional como las relaciones de Colombia con otros países y las organizaciones internacionales. Sin embargo, algunas de estas funciones, especialmente aquellas relacionadas con la planeación y atribución del CNABF, el soporte técnico para las asignaciones de frecuencias, y la vigilancia y control del espectro radioeléctrico, han sido otorgadas por la ley a la ANE y a la ANTV en lo que corresponde con la asignación del espectro radioeléctrico del servicio de televisión, como se explicará en las secciones siguientes.

Con el fin de diferenciar las funciones realizadas actualmente por el MinTIC de aquellas realizadas por la ANE y la ANTV, es necesario hacer una descripción detallada del proceso de monitoreo, vigilancia y control dentro del MinTIC. La Figura 2 presenta la estructura organizacional de este Ministerio, dentro de la cual se puede identificar con claridad la Dirección de Vigilancia y Control, encargada de expedir los actos administrativos relacionados con las actividades de vigilancia y control de los usuarios del espectro radioeléctrico, con el apoyo técnico de la ANE en los casos que corresponda.

La Dirección de Vigilancia y Control⁴ se encarga de llevar a cabo las investigaciones y de imponer las sanciones a los proveedores de servicios de radiocomunicaciones y de radiodifusión sonora, que hacen uso del espectro radioeléctrico atribuido para la prestación

³ Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CNABF).

⁴ En inglés: Direction of Surveillance and Control.

de dichos servicios, que no cumplen los parámetros técnicos autorizados o que los modifican sin la autorización respectiva del MinTIC.

En cuanto al servicio de radiodifusión sonora, la Ley 1341/2009, el Decreto 091/2010 y la Resolución 415/2010 establecen que las actividades de vigilancia y control del espectro usado para la prestación de este servicio están a cargo del MinTIC. En este caso, este Ministerio solicita el soporte técnico a la ANE, para llevar a cabo las visitas técnicas de campo en las cuales la ANE verifica el cumplimiento de los parámetros técnicos que le hayan sido autorizados, previamente, al prestador del servicio, y reporta al MinTIC los resultados, para que en la Dirección de Vigilancia y Control se produzcan los actos administrativos que correspondan.

De manera general, cuando la provisión de un servicio radioeléctrico es realizada sin la autorización previa del MinTIC, se incurre en el uso ilegal del espectro. En todos los casos, incluyendo aquellos que involucren el uso sin autorización del espectro radioeléctrico, la ANE es responsable de decomisar la totalidad de los equipos que estén siendo utilizados para el uso ilegal del espectro. Una vez que se concluye el proceso de decomiso, la ANE debe entregar los equipos incautados al MinTIC, que a su vez dispondrá de ellos de la manera más apropiada posible.

En conclusión, el MinTIC, a través de la Dirección de Vigilancia y Control, tiene varias funciones principales en lo que se refiere a la vigilancia y control del espectro radioeléctrico:

- Definir los procedimientos de vigilancia y control que deben regir para los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión sonora.
- Vigilar el cumplimiento de las obligaciones a cargo de los prestadores de los servicios de telecomunicaciones y de radiodifusión sonora.
- Llevar a cabo las investigaciones e imponer sanciones a los proveedores de servicios de telecomunicaciones y a los proveedores de los servicios de radiodifusión sonora de acuerdo con la ley, las normas y los estándares técnicos que regulan la prestación de los servicios y la operación o uso de las concesiones, contratos, licencias y autorizaciones otorgadas por el MinTIC.
- Destinar los equipos de radiocomunicaciones que entregue la ANE u otra autoridad, como resultado de su incautación por el uso no autorizado del espectro radioeléctrico.
- Recibir y tramitar los asuntos de vigilancia y control remitidos por la ANE para adelantar los procesos de competencia MinTIC.

Es necesario aclarar que la Dirección de Vigilancia y Control del MinTIC también es responsable de verificar el cumplimiento de todas las obligaciones técnicas que hayan sido

impuestas a los proveedores de servicios celulares y de PCS como resultado de concesiones otorgadas para proveer estos servicios.

Otras actividades propias de la gestión del espectro, tales como la asignación y administración del espectro radioeléctrico, son realizadas por la Dirección de Comunicaciones en coordinación con la ANE, quien actúa como agente consultor técnico para dar soporte al MinTIC en estos temas. Así mismo, la Dirección de Vigilancia y Control, en coordinación con la ANE, se encarga de los asuntos relacionados con la vigilancia y control del espectro radioeléctrico.

1.2.2.3 FUNCIONES DE LA ANE

De acuerdo con la Ley 1341/2009, el Decreto 93/2010 y el Decreto 4169/2011, las responsabilidades más importantes de la ANE en lo que tiene que ver específicamente con el monitoreo, la vigilancia y el control, son las siguientes:

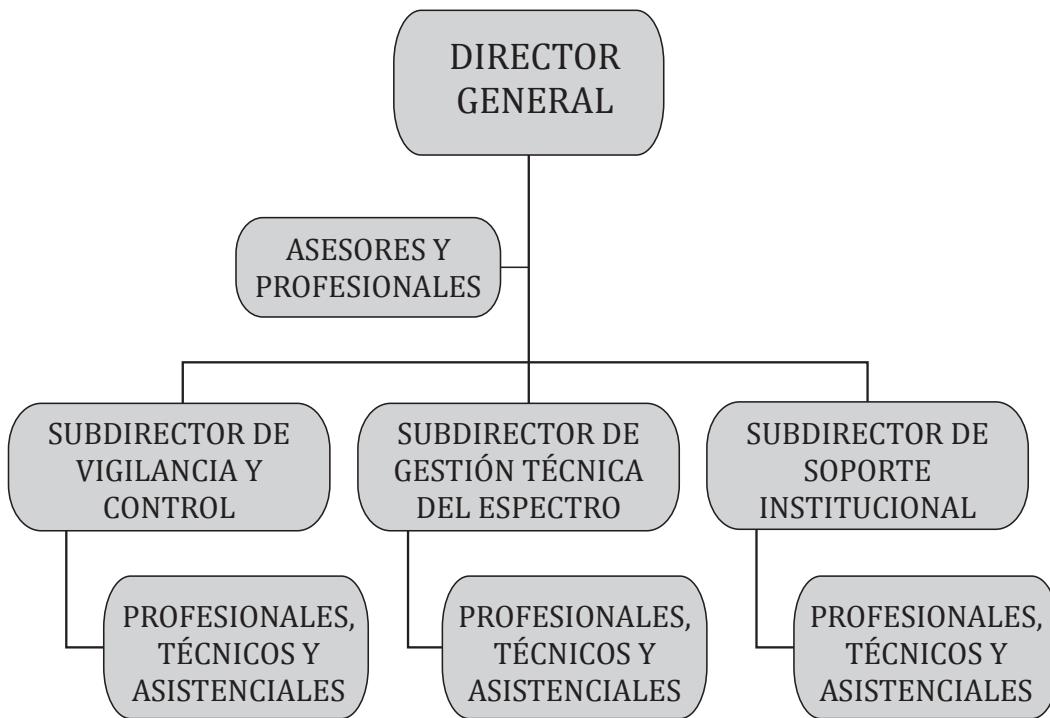
- Diseñar y formular políticas, planes y programas para la vigilancia y control del espectro, en concordancia con las políticas nacionales, sectoriales y las propuestas por las organizaciones internacionales competentes.
- Estudiar y proponer esquemas óptimos para la vigilancia y control del espectro radioeléctrico incluyendo los servicios satelitales, de acuerdo con las tendencias más recientes de la industria de las TIC y los desarrollos tecnológicos.
- Ejercer la vigilancia y control del espectro radioeléctrico para la totalidad de los servicios de radiocomunicaciones, con excepción del espectro utilizado para el servicio de radiodifusión sonora, para el cual apoya al MinTIC desde el punto de vista técnico.
- Investigar las nuevas tendencias nacionales e internacionales en cuanto a la administración, vigilancia y control del espectro a nivel nacional e internacional.
- Ordenar el cese de operaciones no autorizadas de redes de decomiso provisional y definitivo de equipos y demás bienes utilizados para el efecto y disponer su destino con arreglo a lo dispuesto en la ley, sin perjuicio de las competencias que tienen las autoridades militares y de policía para el decomiso de equipos.
- Notificar a las organizaciones internacionales, en coordinación con el MinTIC, sobre los casos de interferencia perjudicial que hayan sido detectados en señales originadas en otro país.
- Planear y atribuir el espectro radioeléctrico con sujeción a las políticas y lineamientos que determine el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, para lo cual establecerá y mantendrá actualizado el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CNABF), con base en las necesidades del

país, en el interés público, así como en los planes técnicos de radiodifusión sonora que establezca el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

- Preparar y proponer al Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones los Cuadros de Características Técnicas de la Red (CCTR), junto con los estudios técnicos y documentos de soporte, con excepción de los planes técnicos de radiodifusión sonora.
- Formular y ejecutar programas de investigación, conocimiento y divulgación del espectro radioeléctrico.
- Establecer su plan estratégico en concordancia con el marco estratégico del sector, fijado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, y dictar su reglamento interno.

Con el fin de lograr los objetivos definidos por la ley, se ha establecido la siguiente estructura organizacional para la ANE.

FIGURA 3
Estructura organizacional de la ANE



Fuente: Agencia Nacional del Espectro (2012). Organigrama. Recuperado el 19 de octubre de 2012 de <http://www.ane.gov.co/index.php/conozca-la-ane/organigrama.htmlMinisterio TIC>.

Como se puede observar en el diagrama anterior, existe una Subdirección de Vigilancia y Control dedicada a realizar las tareas de vigilancia y control sobre los servicios de radiocomunicaciones, esta se encarga de:⁵

- Diseñar e implementar políticas y procedimientos para la vigilancia y control del espectro, en coordinación con otras políticas nacionales y sectoriales y la regulación vigente.
- Establecer y ejecutar los planes de vigilancia y control sobre el uso del espectro, por parte de los usuarios autorizados, así como la utilización no autorizada del mismo.
- Coordinar en las dependencias que correspondan al MinTIC, las actividades de vigilancia y control sobre los derechos y obligaciones en el uso del espectro por parte de los usuarios autorizados.
- Administrar el sistema automatizado de vigilancia y control del espectro, así como las estaciones fijas y móviles asociadas.
- Realizar la verificación técnica de emisiones y la inspección de estaciones.
- Detectar, identificar y notificar al director general de la ANE sobre transmisiones no autorizadas y casos de interferencia perjudicial originados en otros países.
- Investigar las quejas de interferencia e identificar y confirmar las fuentes de las mismas, así como preparar, una vez realizadas las correspondientes investigaciones, un acto administrativo para ser aprobado por el director general de la ANE.
- Realizar todos los procedimientos administrativos e investigaciones que se requieran para determinar las posibles infracciones al régimen nacional del espectro y recomendar las sanciones apropiadas, con excepción de los casos relacionados con los servicios de televisión y radiodifusión sonora.
- Informar al director general de la ANE sobre el uso ilegal del espectro y solicitar el decomiso de los equipos utilizados en estas actividades.

De acuerdo con la regulación vigente, las sanciones que imponga el director general de la ANE como resultado de las actividades de vigilancia y control, deben ser aprobadas por el Consejo Directivo, es decir, el Consejo de Administración de la ANE, compuesto por el ministro, el viceministro y el coordinador del FONTIC, todos ellos funcionarios del MinTIC.

⁵ Decreto 093/2003 MinTIC.

1.2.2.4 FUNCIONES DE LA ANTV

A la ANTV, creada por la Ley 1507/2012, le corresponde coordinar con la ANE los asuntos relativos a la gestión, administración y control del todas las funciones de administración, gestión y control del espectro atribuido al servicio de televisión. Dentro de las funciones de la Junta Nacional de Televisión está la de asignar el espectro radioeléctrico atribuido al servicio de televisión; las demás funciones de administración, planeación, monitoreo, control y vigilancia del espectro atribuido a este servicio le competen a la ANE. La Figura 4 muestra el organigrama de la ANTV.

FIGURA 4
Estructura organizacional de la ANTV



1.2.2.5 INTEGRACIÓN DE LAS ACTIVIDADES CON FINES DE MONITOREO, VIGILANCIA Y CONTROL

Con base en la información presentada en las secciones anteriores, es responsabilidad de la ANE ejercer la vigilancia y control del espectro radioeléctrico en Colombia, para todos los servicios de radiocomunicaciones, salvo excepción claramente definida en el marco regulatorio para el servicio de radiodifusión sonora que le compete al MinTIC, pero que realiza esta actividad con el apoyo de la ANE. De acuerdo con lo anterior, corresponde a

cada organización investigar las posibles infracciones al régimen del espectro de acuerdo con las respectivas funciones de vigilancia y control que le han sido concedidas.

La ANE es el organismo técnico con funciones específicas para realizar actividades de monitoreo del espectro radioeléctrico y para llevar a cabo las visitas técnicas sobre las redes de los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones.

En el caso de servicios de radiodifusión sonora, estas actividades son realizadas por la ANE a solicitud del MinTIC. Este Ministerio, más específicamente, la Dirección de Vigilancia y Control, realiza todas las demás actividades relacionadas con el proceso administrativo que se sigue a los servicios de radiodifusión sonora.

1.3 Funciones de verificación del uso del espectro radioeléctrico

1.3.1 Necesidad de verificación

Los beneficios de un sistema de gestión del espectro no se pueden notar si los usuarios incumplen lo establecido en sus licencias y en las normas y reglamentos adoptados en la legislación nacional. Las normas y reglamentos deben incluir provisiones para definir las acciones que se podrán tomar si se encuentra que un usuario no cumple. Con base en la gravedad de las violaciones, las penas pueden ir desde advertencias hasta multas, revocación de la licencia, cancelación de la operación e, incluso, dependiendo de la legislación nacional, se puede llegar al procesamiento judicial. Sin procedimientos efectivos de verificación, la integridad del proceso de gestión, control y vigilancia del espectro se vería comprometida.

La capacidad de una administración para verificar el cumplimiento de las normas y reglamentos propios de la operación de los sistemas de radiocomunicaciones, claramente depende tanto de un sistema efectivo de gestión del espectro como de un sistema efectivo de monitoreo e inspección. Cuando se recibe una queja por interferencia, la señal interferente se puede monitorear para determinar su localización, el tipo de transmisión y otros parámetros técnicos que puedan ayudar a identificar y localizar la fuente de interferencia e investigarla más exhaustivamente. Se pueden utilizar bases de datos para determinar si la fuente de interferencia proviene de un transmisor autorizado que está operando por fuera de sus parámetros técnicos autorizados o si proviene de un operador ilegal.

Para verificar el uso del espectro, hay una variedad de instrumentos disponibles:

- Monitoreo del uso del espectro
- Control
 - Inspección de las estaciones de radio
 - Mediciones vía monitoreo

- Vigilancia
 - Investigación
 - Reportes de monitoreo
 - Reportes de inspección

Para lograr un espectro utilizable y libre de interferencia, las funciones enumeradas anteriormente deben estar estrechamente ligadas entre sí.

1.3.2 Papel de monitoreo del espectro

El monitoreo puede definirse como *la observación del uso del espectro radioeléctrico y el correspondiente reporte sobre dicha observación*. Esta observación se realiza midiendo transmisiones individuales, pero también puede llevarse a cabo mediante el registro de las bandas de frecuencia contenido en las respectivas bases de datos.

El monitoreo cumple la función de ser "los ojos y los oídos" del proceso de gestión del espectro. En la práctica es necesario porque en el mundo real no hay garantía de que el espectro se utilice de la manera autorizada y prevista. Lo anterior puede deberse a la complejidad del equipo, a su interacción con otro equipo, a su funcionamiento incorrecto o al mal uso deliberado. Este problema ha sido exacerbado por la proliferación acelerada de sistemas terrestres inalámbricos y satelitales u otros equipos que pueden causar interferencia, tales como computadores y otros radiadores no intencionales. Del mismo modo, el monitoreo del espectro ofrece un método de verificación apropiado y cierra el ciclo en el proceso de gestión del espectro.

El espectro es utilizado las 24 horas del día, siete días a la semana, cada semana del año, ya sea local, regional o globalmente. De igual manera, el monitoreo del espectro debe realizarse en forma continua si se pretende cumplir con las metas y propósitos de manera satisfactoria. El propósito del monitoreo del espectro es apoyar el proceso de la gestión en general, incluyendo las funciones de asignación de frecuencias y planeación. Los propósitos que se persiguen al realizar el monitoreo son específicamente los siguientes, se presentan sin establecer un orden de prioridad:

- Proporcionar asistencia en la resolución de interferencia del espectro electromagnético, ya sea a escala local, regional o global, de modo que los servicios y las estaciones de radiocomunicaciones puedan coexistir de forma compatible, reduciendo y minimizando los recursos asociados a la instalación y operación de los servicios de telecomunicaciones, al tiempo que ofrecen una ventaja económica a la infraes-

tructura del país al proporcionar acceso sin interferencias a los servicios de telecomunicaciones.

- Ayudar a garantizar una calidad aceptable de recepción de señales de radiodifusión sonora y televisión por el público en general.
- Suministrar datos de monitoreo valiosos al proceso de gestión del espectro electromagnético de una administración, en lo que se refiere al uso real de frecuencias y bandas (por ejemplo, ocupación de canal y congestión de la banda), verificación de las características técnicas y operacionales apropiadas de las señales transmitidas, detección e identificación de transmisores ilegales, y generación y verificación de los registros de frecuencia.
- Ofrecer información valiosa de monitoreo a los programas organizados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que son útiles, por ejemplo, en la elaboración de informes para las conferencias de radiocomunicaciones, que buscan la eliminación de interferencia perjudicial; en desmontar operaciones fuera de banda; o en la asistencia a las administraciones para encontrar frecuencias adecuadas.

La información detallada sobre el monitoreo está disponible en el Capítulo 3.

1.3.3 Papel de la inspección

La inspección del equipo de radio se define *como llevar a cabo las mediciones en sitio de las estaciones de radio y revisar si el equipo de radio cumple con las condiciones permitidas en la licencia general o individual y/o condiciones permitidas*.

Mediante la inspección de las instalaciones de radio es posible regular y asegurar un uso más eficiente del espectro. Lo anterior ha sido más fácil en los últimos años, gracias al mejoramiento del tamaño, el peso y el consumo de energía de los equipos portátiles de medición. Para la inspección de las instalaciones de radio se puede adoptar una serie de enfoques diferentes, que pueden variar desde la inspección periódica de todas las instalaciones nuevas, hasta la realización de muestreos periódicos sobre las instalaciones existentes para obtener información estadística o llevar a cabo una acción selectiva, como se explica a continuación.

Un enfoque efectivo consiste en utilizar un programa de muestreo de transmisores existentes. La muestra es seleccionada aleatoriamente para diversos servicios, para luego evaluar los resultados de la inspección de acuerdo con los estándares nacionales. A futuro, los rangos de la muestra son ajustados de acuerdo con los resultados del año anterior. Si la concordancia resulta relativamente alta para un servicio determinado, se reduce el número de muestras; de lo contrario, el número de muestras aumenta.

La información detallada sobre la inspección está disponible en el Capítulo 4.

1.3.4 Papel de la vigilancia

La vigilancia se puede definir como *la observación del uso del espectro radioeléctrico para determinar si está siendo utilizado ilegalmente o en forma no autorizada*.

Para que la gestión del espectro sea exitosa es necesario tener espectro disponible para asignarlo a aquellos usuarios que efectivamente lo utilicen. Antes de que un nuevo servicio entre en operación en una parte específica del espectro, es necesario sacar del aire las transmisiones no autorizadas. Lo anterior es de vital importancia cuando una parte del espectro ha sido concedida en un lugar en el que existe riesgo para la vida o la propiedad o dónde los operadores han invertido recursos importantes para la prestación de servicios al público. Para que el espectro se mantenga libre de uso no autorizado y en consecuencia apto para ser utilizado por los usuarios adecuados, es posible que se requiera de una investigación para identificar posibles fuentes de interferencia. Las investigaciones proactivas son de gran ayuda para lograr este objetivo.

La información detallada sobre vigilancia e investigación se encuentra disponible en el Capítulo 5.

1.4 Relación con otras entidades de la organización para la gestión del espectro

En la sección 1.2.2 se describe la relación entre la ANE y el MinTIC. Sin embargo, también existe interrelación entre las diferentes subdirecciones de la ANE, la cual se muestra en la Figura 3 presentada anteriormente. Es importante subrayar que en los casos en los cuales se requiera el decomiso de los equipos ilegales, dicho decomiso lo deben realizar las autoridades militares y de policía con la asistencia de funcionarios de la ANE y el MinTIC.

1.4.1 La relación entre el monitoreo y la gestión del espectro

Las funciones de monitoreo y gestión del espectro están estrechamente vinculadas. La conexión de estas funciones a través de un sistema informático integrado puede resultar en una mayor eficacia y en una mejor eficiencia de costos. Para implementar un sistema de gestión del espectro es de vital importancia que primero se desarrolle un sistema estructurado que mantenga la integridad del proceso, apoyado en una base de datos que contenga toda la información relevante. Si la base de datos no es adecuada, se puede utilizar eficazmente una combinación de técnicas de monitoreo y vigilancia mediante las cuales se obtiene informa-

ción vital que sirve para perfeccionar la base de datos y el proceso general de la gestión del espectro.

El monitoreo está directamente asociado con la inspección y vigilancia pues permite:

- Identificación y medición del uso del espectro y las fuentes de interferencia.
- Verificación de las características técnicas y operacionales autorizadas de las señales radiadas.
- Detección e identificación de los transmisores ilegales y producir datos sobre la efectividad de las políticas de gestión del espectro.

El monitoreo posterior apoya el esfuerzo general de la gestión del espectro, ya que proporciona mediciones generales del uso de canales y bandas incluyendo estadísticas de carácter técnico y operacional en cuanto a la disponibilidad de canales, proporcionando una medida de ocupación del espectro. El monitoreo también es útil para la planeación, ya que facilita la comprensión en cuanto al nivel de uso del espectro con respecto a las asignaciones que se registran en papel o en bases de datos. Un sistema de monitoreo y medición puede ayudar en aquellos casos en los que la solución a un problema requiere más que el conocimiento de las características autorizadas o diseñadas para los sistemas de radio. Un sistema de monitoreo y medición también obtiene información sobre la operación de sistemas individuales, para propósitos regulatorios, de aplicación de la normatividad y de cumplimiento, y puede ser utilizado para la localización e identificación de estaciones que estén causando interferencias.

En términos generales, el monitoreo proporciona retroalimentación a la gestión del espectro en cuanto a si el uso del espectro está de acuerdo con las políticas nacionales. El monitoreo también puede identificar la necesidad de otros requisitos, que los funcionarios de la gestión del espectro podrán implementar en el futuro. En este caso, el monitoreo prealimenta con información a la gestión del espectro.

1.4.2 *Conclusión de la visión general de las relaciones*

EL MONITOREO PROPORCIONA INFORMACIÓN:

- Al Departamento de Gestión de Frecuencias en cuanto al uso real del espectro en relación con el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CNABF), a través de espectrogramas (registros de ocupación de la banda) e información sobre ocupación por grupo de usuarios.
- Al Departamento de Licencias, con base en la ocupación por canal/localización.

- A su propio Departamento de Verificación, en cuanto al uso ilegal del espectro.
- A su propio Departamento de Verificación, por medio de inspecciones remotas, cuya información puede generar una inspección en sitio.
- Para asistir en casos de resolución de la interferencia

LA INVESTIGACIÓN ASISTE:

- Al Departamento de Licencias, a través de la inspección en sitio.
- Al Departamento de Verificación, en cuanto al uso ilegal del espectro.
- Para la resolución de los casos de la interferencia.



CAPÍTULO 2 ORGANIZACIÓN

2.1 Introducción

Este capítulo describe la organización y el flujo de trabajo de las entidades responsables de la verificación, control y vigilancia del espectro radioeléctrico y presenta la forma como se debe apreciar su estructura e interconexión.

Además, se hace un análisis de las secciones encargadas de la verificación del espectro radioeléctrico, incluyendo sus actividades, y también las razones para la elaboración y ejecución de un plan anual de trabajo.

En este capítulo también se describe la relación entre los diferentes departamentos (dependencias) que constituyen una organización de gestión del espectro, a través de una base de datos central, para un proceso de trabajo optimizado y eficiente, con el objetivo de lograr un espectro utilizable para los usuarios.

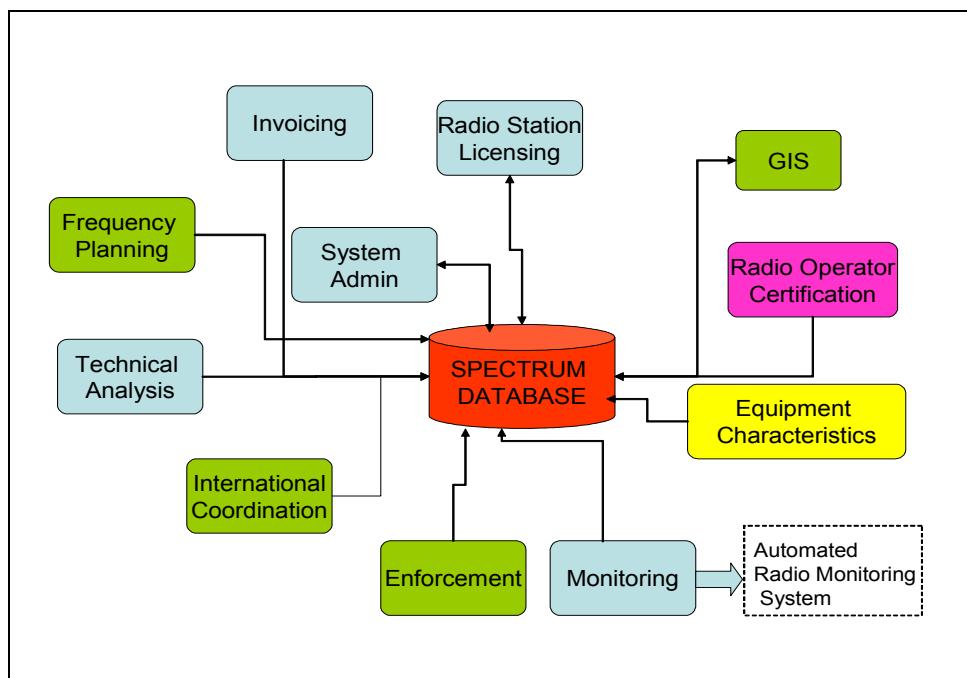
2.2 Estructura nacional

El centro de la infraestructura de una organización nacional para la gestión del espectro consiste en una base de datos central, donde se concentran todos los elementos que deben estar presentes dentro de una organización responsable de la gestión del espectro. En

esta base de datos se concentran tanto los elementos funcionales más comunes, como lo son la planeación de frecuencias, el licenciamiento y la vigilancia, como aquellos procesos que tienen que ver con los datos de monitoreo, el análisis técnico, la facturación, etc. Los procesos se llevan a cabo basándose en la información actualizada de esta base de datos del espectro.

La siguiente figura ilustra la manera cómo las diferentes funciones propias de la gestión del espectro se interrelacionan con la base de datos:

FIGURA 5
Sistema de gestión automatizada de frecuencia del espectro



Todos los datos de monitoreo recopilados se almacenan dentro de la sección de monitoreo de la base de datos central, y los datos relacionados con la inspección y vigilancia se guardan en la sección de vigilancia.

2.2.1 Infraestructura de monitoreo

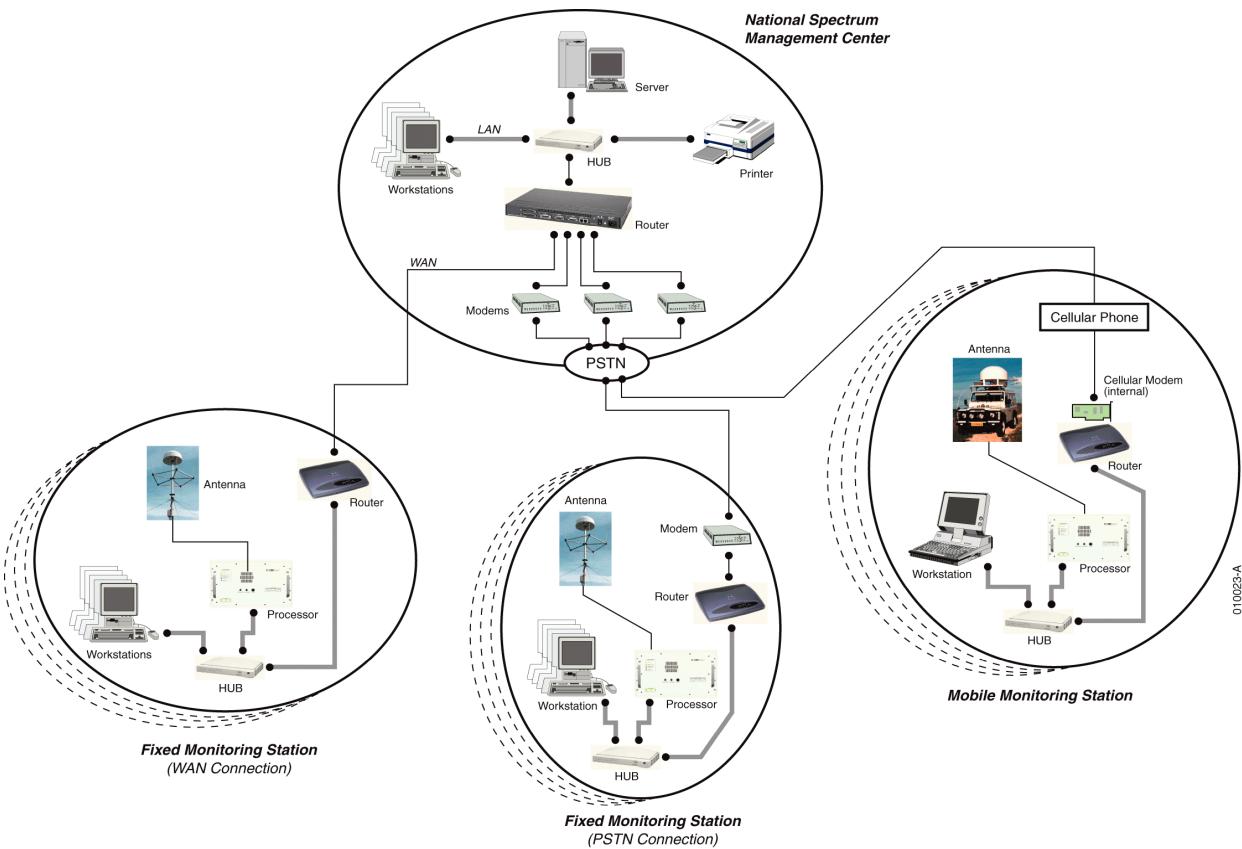
Como se muestra en la Figura 5, el sistema de monitoreo está conectado con la base de datos central de la organización de gestión del espectro. Dicho sistema está compuesto

por una variedad de estaciones que llevan a cabo las labores de monitoreo y que se encuentran conectadas vía radio a una red de radiocomunicaciones:

- Estaciones de monitoreo fijas (atendidas).
- Estaciones de monitoreo fijas remotas (no atendidas).
- Estaciones de monitoreo móviles.
- Estaciones de monitoreo transportables.

La Figura 6 nos muestra la manera como estas estaciones están conectadas entre sí y a su vez con la base de datos central.

FIGURA 6
Redes de un sistema integrado de monitoreo



2.2.2 Principios para construir una red de monitoreo

Conocer las necesidades de apoyo que tienen los departamentos involucrados en la gestión del espectro, en cuanto a monitoreo se refiere, es de vital importancia antes de tomar decisiones en cuanto a la consecución de los equipos que se utilizarán para esta tarea.

Mediante la aplicación de los principios que se presentan a continuación, se puede obtener una visión general de las necesidades que se deben suplir para llevar a cabo el monitoreo del espectro radioeléctrico. Con base en esta visión general, se puede definir el número necesario de estaciones fijas atendidas, de estaciones remotas, móviles y transportables, y determinar dónde deben situarse.

Para la planeación y desarrollo de una red de monitoreo se deben especificar y tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1) Áreas de cobertura del monitoreo con base en:
 - Las responsabilidades del cuerpo regulador:
 - El MintIC y la ANE son las autoridades encargadas de regular el sector de las telecomunicaciones y las tecnologías de la información en Colombia.
 - La ANE tiene la responsabilidad de que el espectro radioeléctrico pueda ser utilizado sin interferencias dentro del país, por los usuarios a quienes les haya sido otorgado el derecho de hacerlo, asegurándose de que este uso se haga de acuerdo con las condiciones estipuladas en las licencias.
 - En los casos de interferencia causada por usuarios del espectro que cuenten con un departamento propio para la planeación de frecuencias, a la ANE únicamente le corresponderá garantizar que la parte del espectro correspondiente se mantenga libre de cualquier uso no autorizado, para lo cual deberá llevar a cabo las labores de monitoreo que correspondan y realizar un seguimiento en las áreas donde operan estos usuarios.
 - El tamaño del país y la densidad del uso del espectro en su territorio:
 - En algunos países la distribución de personas está concentrada en ciertas áreas mientras que grandes zonas tienen poca población. Desde este punto de vista, se debe discutir si se necesita información de monitoreo de todo el país o solamente se debe concentrar en esas áreas concentradas.
 - La necesidad de otros elementos funcionales del proceso de gestión del espectro, como los departamentos de Planeación de Frecuencias, Licenciamiento y Vigilancia:
 - El monitoreo proporciona información sobre el uso real del espectro a los departamentos de Planeación, Licenciamiento y Vigilancia. Estas áreas pueden tener un interés especial en la utilización del espectro desde el punto de vista geográfico, desde el punto de vista del rango de frecuencia e inclusive desde el punto de vista del usuario.

- La responsabilidad que conlleva el servicio de monitoreo:
 - El monitoreo consiste en la recolección de datos sobre el uso del espectro, no solo para servir de apoyo a la planeación de frecuencias, el licenciamiento y la verificación, sino también para obtener información sobre los rangos de frecuencia que pueden ser importantes en el futuro.
- La planeación orientada al uso de las radiocomunicaciones en el futuro:
 - Al realizar la planeación de un nuevo sistema de monitoreo es importante contar con información relevante sobre el uso a futuro del espectro dentro del país, de manera que el organismo gestor pueda decidir sobre el tipo de equipo y personal de monitoreo que se requerirá.
 - También es necesario tomar decisiones sobre cómo se llevará a cabo la interconexión entre el sistema de monitoreo y la base de datos central. En caso de que el sistema de monitoreo deba ser conectado durante el desarrollo de las funcionalidades de este sistema de monitoreo, también se debe incluir esta interfaz en los requerimientos.

Una vez hayan tenido lugar las discusiones sobre los puntos anteriores, se podrán sacar conclusiones sobre una nueva estructura de monitoreo, el rango de frecuencias a monitorear, el número de estaciones atendidas, de estaciones fijas remotas, estaciones móviles y estaciones transportables. También se pueden tomar decisiones sobre la localización de las estaciones previstas. Más información se puede encontrar en el Manual de la UIT, en la sección 2.1.3, Monitoreo del Espectro (edición 2010).

2.3 Interconexión

La meta principal de una organización que busca la gestión efectiva del espectro radioeléctrico es que todos los elementos involucrados se encuentren interconectados, maximizando la disponibilidad de los datos para los usuarios de la base de datos central. La disponibilidad de la información le permite al operador de monitoreo conocer todas las atribuciones de frecuencia y toda la información relativa a las licencias de asignación de frecuencias. En el caso que el personal de monitoreo no pueda llevar a cabo alguna actividad, la información disponible en la base de datos también puede servirle al personal de inspección y vigilancia para llevar a cabo estas tareas, de ser necesario. De igual manera, el administrador de frecuencias puede acceder a la información de monitoreo disponible para efectos de planeación y el Departamento de Licencias puede utilizar los datos dentro de sus procesos de renovación y otorgamiento de licencias.

Al almacenar la información relevante de las actividades diarias de monitoreo, inspección e investigación en la base de datos central, todos sus usuarios podrán obtener una visión actualizada de la utilización del espectro, adquiriendo un mayor conocimiento para la realización de sus tareas. Esto aplica no solo para todo el personal de planeación, ingeniería y licenciamiento, sino también para el propio personal de monitoreo, inspección e investigación.

2.4 Actividades de monitoreo, inspección e investigación y su interrelación

2.4.1 La relación entre monitoreo e inspección

Las funciones de monitoreo e inspección de radio deben cooperar mutuamente y tener acceso a una base de datos común. En la búsqueda de interferencia perjudicial es especialmente útil para el monitoreo contar con información detallada sobre el equipo de radio que, de acuerdo con el resultado de la inspección, no esté cumpliendo con los requerimientos. Si las tareas de monitoreo e inspección se llevan a cabo de la manera adecuada servirán para vigilar las fuentes de interferencia nociva e, incluso, el monitoreo de por sí puede generar inspecciones mediante el registro de los mismos parámetros que se registrarían durante una inspección, permitiendo seleccionar y determinar los candidatos para una inspección en sitio y reduciendo a su vez la cantidad requerida de este tipo de inspecciones. Adicionalmente, el monitoreo puede apoyar aún más las tareas de inspección de radiocomunicaciones en aquellos casos en los cuales se haya reparado o no una estación defectuosa, sin necesidad de inspeccionar o reinspeccionar el equipo en sitio.

Ya que el monitoreo tiene altos costos en equipos de medición en comparación con la inspección, muchos países implementan sus servicios de monitoreo en menos lugares que sus servicios de inspección. Puesto que el servicio de inspección es generalmente más cercano a los clientes (usuarios del espectro), mediante la inspección se realiza una investigación final de aquellos casos de interferencia que inicialmente hayan sido investigados utilizando goniómetros fijos. En realidad, no es necesario hacer una división estricta entre los dos servicios y puede incluso tener sentido, por razones financieras, no separar el servicio de radio monitoreo del servicio de inspección.

De hecho, la integración o la fusión del monitoreo e inspección en una organización puede simplificar la organización total.

2.4.2 Relación entre el monitoreo y la investigación

Una de las tareas del monitoreo es la de investigar el uso del espectro radioeléctrico cuando se trata de emisiones no autorizadas o ilegales. El personal de investigación necesita estos resultados con el fin de lograr el retiro de estaciones no autorizadas o ilegales, confiscar sus equipos y evitar que hagan uso del espectro radioeléctrico. El personal de investigación debe también poner su conocimiento a disposición del área de monitoreo que necesita conocer la frecuencia y posible localización geográfica de un determinado uso ilegal del espectro.

2.4.3 Relación entre la inspección y la investigación

De manera similar a la relación que existe entre el monitoreo y la investigación, es importante que la inspección suministre al personal de investigación, la información relevante al uso no autorizado o ilegal del espectro. Durante una inspección en sitio, el personal de inspección observa el uso no autorizado o ilegal del equipo y, de esta manera, puede realizar un seguimiento para proceder con la respectiva confiscación o acción administrativa que corresponda.

2.4.4. Cooperación con otras entidades

En la mayoría de países, los servicios de monitoreo e investigación no cuentan con facultades policiales, por lo que es necesario cooperar con la policía y las autoridades competentes para confiscar transmisores ilegales y penalizar la violación de las normas. La experiencia ha demostrado que es de gran ayuda involucrarlos con anticipación y familiarizarlos con los aspectos principales de la ley de telecomunicaciones.

Se asume que en este punto no es necesario detallar la necesidad de colaboración estrecha entre la administración de frecuencias y el servicio de monitoreo.

2.5 Tareas de un servicio de monitoreo

2.5.1 Tareas derivadas del Reglamento de Radio (RR)

Las siguientes tareas del servicio de monitoreo se derivan del RR:

- Monitorear las emisiones para verificar que cumplan con las condiciones de la licencia de asignación de frecuencias.
- Observación de las bandas de frecuencias y medición de la ocupación de canales de los canales radioeléctricos.
- Investigar casos de interferencia.
- Investigar y detener emisiones no autorizadas.
- Monitorear regularmente las emisiones nacionales para verificar que cumplan con las condiciones de las licencias y, posteriormente, eliminar cualquier intento de incumplimiento para prevenir interferencias.
- Monitorear los parámetros técnicos tales como frecuencia, ancho de banda, desviación de frecuencia y tipo de emisión.
- Monitorear ciertos servicios de radiocomunicaciones como, por ejemplo, las radiocomunicaciones de aficionados, en las cuales se debe garantizar que las señales de llamada sean emitidas de manera regulada y que no se realice ninguna transmisión que esté por fuera del contexto de la radioafición.

Las observaciones de la banda de frecuencias buscan determinar las frecuencias y canales que son utilizados, por quién y cómo. Por su parte, las mediciones de ocupación de canal buscan determinar en qué grado y cuándo son utilizadas las frecuencias y, por lo tanto, permiten identificar las frecuencias que no se utilizan. Las observaciones de la banda de frecuencia también permiten identificar las emisiones y sus características básicas. Conocer la utilización real del espectro es esencial para garantizar su uso eficiente y libre de interferencias y para decidir si una frecuencia puede o no ser asignada a usuarios potenciales. Estos datos también son la base para la coordinación nacional e internacional de frecuencias.

Debido a que el papel que juegan las aplicaciones de radio en todas las áreas de la vida es cada vez más importante, la tarea de eliminar la radio interferencia a través de la investigación rápida y efectiva es de vital importancia económica, dando especial prioridad a la eliminación de la interferencia para los servicios de seguridad, como son los del Estado, los aeronáuticos, marítimos, los destinados a operaciones de socorro y salvaguarda de la vida humana y el medio ambiente, los policiales y de bomberos. Detener las emisiones no autorizadas tiene por objeto, ante todo, prevenir la interferencia, pero también garantizar la rentabilidad para los usuarios autorizados que pagan por el servicio.

2.5.2 *Tareas a nivel nacional*

Además de las tareas indicadas en la sección 2.5.1, el servicio de monitoreo también se encarga de aquellas tareas que no se derivan directamente del RR como, por ejemplo:

- Brindar asistencia en ocasiones especiales, como eventos deportivos importantes y visitas de Estado.
- Realizar mediciones de cobertura de radio.
- Estudios de compatibilidad de radio y EMC.
- Estudios técnicos y científicos.

En las visitas de Estado y durante otros grandes eventos se debe utilizar una gran cantidad de equipos de radio en un espacio confinado. A menudo, los usuarios no son conscientes que necesitan una asignación de frecuencia o que no pueden utilizar las mismas frecuencias en los diferentes países. En el interés de prevenir la interferencia o de intervenir de forma inmediata si esta ocurre, es necesario que el servicio de monitoreo se encuentre en el sitio para que pueda monitorear el uso del espectro y actuar rápidamente para investigarla y eliminarla. Para el éxito de esta labor es crucial que exista una coordinación oportuna entre los organizadores y el personal responsable de la asignación de frecuencias, quienes también deben estar en el sitio para asignar una frecuencia en el momento, si es necesario.

En muchos países, las mediciones de cobertura de una estación de radiocomunicaciones se consideran como una tarea que forma parte del servicio de monitoreo. Lo anterior implica la medición de la intensidad del campo y, en algunos casos, de parámetros de calidad tales como la tasa de errores de bit (BER) y la potencia del canal adyacente. Otros países consideran que este tipo de mediciones les corresponden a los operadores de redes de radiocomunicaciones y no al servicio de monitoreo, ya que el mercado garantiza calidad suficiente en la cobertura del área de servicio.

Con antelación a que las frecuencias sean atribuidas a una nueva aplicación de radiocomunicación, es necesario asegurar su compatibilidad con los sistemas de radiocomunicación existentes. Los estudios de compatibilidad puramente teóricos con frecuencia no son adecuados y se puede requerir del servicio de monitoreo para que asista mediante la realización de estudios prácticos, en caso que se cuente con el equipo y el personal calificado requeridos para la medición. Adicionalmente, estos expertos se pueden invitar para brindar asistencia durante ciertos estudios científicos como, por ejemplo, para realizar observaciones de condiciones de propagación a largo plazo.

En el Capítulo 3 se detalla el papel del monitoreo en el proceso de gestión del espectro, también se encuentra información detallada acerca de una variedad de mediciones que bien podrían ser llevadas a cabo por parte del monitoreo según las políticas nacionales.

2.6 Tareas de un servicio de inspección

Las siguientes tareas se asignan usualmente al servicio de inspección de radiocomunicaciones y no al de monitoreo:

- Realizar la revisión del equipo de radio en sitio.
- Realizar las mediciones necesarias al equipo de radio, para eliminar cualquier amenaza que ponga en peligro la salud a causa de la radiación electromagnética.
- Procesar los casos de compatibilidad electromagnética relacionados con equipos que no sean de radiocomunicación.
- Realizar las labores de vigilancia del mercado cuando se pretenda ingresar al mercado un nuevo equipo de radiocomunicación u otro tipo de equipo electrónico.

Con respecto a la vigilancia del mercado, los equipos de radiocomunicaciones utilizados en todo el mundo deben respetar los requerimientos regionales o nacionales, con el fin de garantizar que su operación se lleve a cabo en cumplimiento de los reglamentos técnicos o restricciones relevantes (frecuencia, banda, niveles de energía, etc.).

Si se incumplen las regulaciones y restricciones se corre el riesgo que el equipo genera interferencia perjudicial, por lo que mediante la vigilancia del mercado se deben controlar los productos dentro del mercado. Una manera típica de realizar este tipo de vigilancia y control es obtener muestras al azar y llevarlas al laboratorio interno para realizar las pruebas correspondientes o utilizar laboratorios de carácter privado que funcionan en contacto con el organismo encargado de la gestión del espectro.

El Capítulo 4 contiene información más detallada sobre la inspección y su variedad de actividades.

2.7 Tareas de la actividad de investigación

Las tareas que se deben realizar para cumplir la actividad de investigación se basan en los siguientes principios fundamentales:

- Es esencial para el éxito de la gestión del espectro crear un espectro disponible para aquellos a quienes se les pretende otorgar licencia para su uso, de la manera prevista en las normas técnicas y los reglamentos de radiocomunicaciones.
- Es necesario sacar del aire cualquier transmisión no autorizada antes que un nuevo servicio entre en operación en alguna parte específica del espectro.

Estos dos principios son de vital importancia cuando se concede una parte del espectro en un lugar donde exista riesgo para la vida o la propiedad, o frente a inversiones importantes que hayan realizado los operadores públicos para prestar sus servicios. Con el fin de mantener el espectro libre de uso no autorizado, haciéndolo útil para los licenciatarios, es necesario llevar a cabo una investigación para identificar las posibles fuentes de interferen-

cia. En este sentido, las investigaciones proactivas juegan un papel importante para alcanzar esta meta.

Los datos de monitoreo y asignación que suministren los registros de emisiones regulares y no regulares son fundamentales para establecer las prioridades del plan de trabajo que realizará el área de investigación. Con base en los datos de monitoreo, las acciones para sacar (eliminar) las emisiones no autorizadas fuera del espectro licenciado o de uso libre, son una forma efectiva de organizar el trabajo.

El Capítulo 5 contiene información más detallada sobre cómo ocuparse del uso ilegal del espectro.

2.8 Planes anuales de trabajo

Una de las responsabilidades más importantes que tienen los organismos encargados de la gestión del espectro, y dentro de ellas las áreas de monitoreo, inspección e investigación, es la de cerciorarse de que todas las tareas asignadas a cada una de las áreas se lleven a cabo, se debe ver como algo natural que la responsabilidad recae en el nivel de gestión más alto de la organización en cuanto a las actividades que se realizan. De esta manera, el organismo de gestión del espectro podrá ver los beneficios de las inversiones realizadas en respuesta del monitoreo, inspección e investigación, para consolidar su imagen como organización técnica-profesional altamente calificada.

Consolidar una imagen con estas características también es necesario para otras entidades del sector de las TIC dentro del país, como lo son los ministerios, las difusoras y los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

Una segunda responsabilidad que tiene el organismo encargado de la gestión del espectro es la de crear un ambiente de trabajo en el cual el personal de monitoreo se sienta reconocido y respetado. El personal de monitoreo debe sentir que el trabajo que está realizando es importante e interesante y que hacen parte de la consecución de una meta superior que es la buena gestión del espectro.

2.8.1 Plan anual de trabajo de monitoreo

Luego de invertir en un nuevo sistema de monitoreo es obvio que las autoridades del organismo gestor deben ser conscientes del valor agregado que el nuevo sistema de monitoreo representa para su gestión. Por esta razón es de gran importancia que exista una visión general transparente y disponible de todas las actividades llevadas a cabo por el Departamento.

mento de Monitoreo. Esta es la razón por la que toda la información de gestión relacionada con el Departamento de Monitoreo debe ser conocida por las autoridades del organismo gestor. Para organizar apropiadamente el trabajo del Departamento de Monitoreo y verificar que todas las tareas asignadas a dicho departamento se lleven a cabo, es necesario elaborar, adoptar y desarrollar un plan anual de trabajo, que lo constituyen el Plan Anual de Monitoreo (PAM) y Plan Operacional de Monitoreo (POM).

2.8.1.1. PLAN ANUAL DE MONITOREO

Este PAM debe ser desarrollado por el propio Departamento de Monitoreo y aprobado por los niveles más altos de la organización. Una vez aprobado el plan, el Departamento de Monitoreo es consciente de que tiene un compromiso financiero con los recursos invertidos, por lo que debe reportar cada tres meses sobre sus actividades e indicar si los diferentes elementos del PAM se han llevado a cabo de acuerdo con el cronograma.

Este plan anual debe incluir, entre otros:

- Las tareas generales de monitoreo (nacional e internacional). Esta es la base para las tareas de un Departamento de Monitoreo:
 - ¿Cuál es la base jurídica?
 - ¿Cuáles son las responsabilidades?
 - ¿Cuál es el mandato para tomar acción en el manejo de la interferencia?
- Los planes para el año se deben determinar con base en discusiones con los clientes, prestando especial atención a:
 - El uso ilegal; mediciones específicas de la ocupación del canal de frecuencia (FCO) para respaldar la licencia.
 - Mediciones específicas de la ocupación de la banda de frecuencia (FBO) para apoyar a la administración de frecuencias, etc.
- Las tareas a desarrollar en cooperación con otros departamentos. Con base en discusiones internas de los funcionarios se establecerán sus prioridades para el siguiente año y el tipo de soporte que requieren por parte del Departamento de Monitoreo y lo incluirán en el plan de trabajo del año siguiente.
- Los planes en relación con las nuevas tecnologías de monitoreo basándose en políticas a largo plazo, para lo cual se deben establecer planes que incluyan nuevos equipos de monitoreo.
- Desarrollo del recurso humano, incluyendo salarios y entrenamiento.
- Presupuesto para las nuevas inversiones, incluyendo inversiones a largo plazo (cinco años).
- Presupuesto para el mantenimiento de los equipos, vehículos, edificios, etc.

Para desarrollar el plan anual de monitoreo y dependiendo de las políticas de la administración, el responsable del área de monitoreo debe discutir oportunamente con todas las demás áreas involucradas sobre las tareas que esperan que el equipo de monitoreo realice para el año siguiente. Es necesario que esta política sea discutida con los funcionarios responsables dentro de la administración de gestión, con el fin de desarrollar las estrategias de monitoreo y los planes financieros necesarios para la adquisición de los equipos que se requieran.

2.8.1.2. PLAN OPERACIONAL DE MONITOREO

El Plan Anual de Monitoreo (PAM) es la base para la implementación del Plan Operacional de Monitoreo (POM), que tiene que ver con las tareas y operaciones que se llevan a cabo día a día. Los planes se realizarán en combinación con las tareas convenidas con otros departamentos de la administración de gestión, las cuales serán determinadas e incluidas en este POM. De hecho, a través del POM es posible contar con un registro diario de las actividades de monitoreo que se estén llevando a cabo en cada oficina, y que pueden variar en el caso de las oficinas regionales.

El POM puede incluir, por ejemplo:

- El tipo de mediciones que se realizarán, con qué frecuencia y en qué frecuencias.
- Los alcances de frecuencia que serán observados y cuántas veces.
- Las estaciones fijas que se encargan de proyectos previamente definidos, etc.

El POM debe incluir también proyectos nacionales y regionales y estar sujeto a una planeación realista. Esto significa que, en caso de que el plan esté saturado con tareas diarias de monitoreo de bandas de frecuencia, no quedará espacio para otras actividades, para las cuales es necesario reservar tiempo. Estas actividades incluyen:

- Mantenimiento del equipo de monitoreo (calibración y mantenimiento preventivo).
- Actividades de entrenamiento para el personal de monitoreo a las cuales debe asistir todo el personal disponible.
- Tareas prioritarias que se pueden presentar sin previo aviso (imprevistos).

Todas las actividades de las oficinas regionales hacen parte del POM de cada una de ellas y deben consolidarse en un gran POM para todo el Departamento de Monitoreo Central. Es importante aclarar que, además de las actividades incluidas en el POM, la prioridad más alta debe darse a los casos de interferencia. En los casos en que no se cuente con suficiente

ciente personal disponible para llevar a cabo más de una tarea, será necesario posponer el resto de las actividades para dar prioridad al manejo de la interferencia.

EJEMPLO ABREVIADO DE UN POM:

Semana 1: FCO en los canales de frecuencia x...y vía todas las estaciones fijas (remotas); mediciones típicas.

Semana 2: FCO en los canales de frecuencia a...b vía todas las estaciones fijas (remotas); mantenimiento del equipo de monitoreo portátil.

.

Semana 12: FBO en las bandas de frecuencia específicas para apoyar a la administración de frecuencia.

Semana 13: FBO para determinar uso ilegal; medición específica.

.

Semana 35: FCO en los canales de frecuencia x... y vía todas las estaciones fijas (remotas); mediciones típicas.

Semana 36: Cursos de entrenamiento para el personal, mantenimiento del equipo.

.

Semana 42: Proyecto regional para eliminar uso por parte de teléfonos inalámbricos ilegales, etc.

2.8.1.3 FINANCIAMIENTO DEL DEPARTAMENTO DE MONITOREO

La financiación de un Departamento de Monitoreo cuesta mucho dinero y la mayoría de las personas no comprenden por qué se requieren grandes inversiones para una actividad dentro de la gestión del espectro cuyo valor agregado no pueden ver.

En una administración de gestión del espectro moderna, el flujo de presupuesto debe ser transparente y la responsabilidad debe recaer en las directivas más altas de la organización. Estas directivas se encargan de aprobar los requerimientos para presupuestar y conseguir nuevos equipos, contratar más personal, ascender al personal, etc.

La transparencia es necesaria para satisfacer las necesidades administrativas y aprobar las actividades realizadas por el Departamento de Monitoreo.

Cuando se presenten las necesidades financieras del Departamento de Monitoreo, se debe incluir:

- El presupuesto necesario para nuevas inversiones en equipo de monitoreo, estaciones móviles, etc.
 - En la justificación del requerimiento de presupuesto se deben exponer las razones por las cuales este se requiere. Por ejemplo, si la necesidad se basa en nuevas tareas de monitoreo o si se requiere solucionar problemas que no se pueden resolver con el equipo existente.
 - Se deberán indicar las inversiones adicionales necesarias en un futuro próximo, por eso es necesario hacer un seguimiento de los nuevos sistemas de comunicación que se utilizarán en el país y que por tanto serán monitoreados.
 - Se debe ser consciente del presupuesto necesario, por lo cual se aconseja invitar regularmente a los fabricantes, para hablar sobre la disponibilidad de los equipos que se requieren para las nuevas tareas.
 - Lo ideal es conformar un equipo que tenga un gerente regional, uno o dos ingenieros de monitoreo y un representante de la unidad que se encargue del mantenimiento del equipo.
- Costos de funcionamiento del departamento.
 - En este sentido, se deben tener en cuenta los siguientes costos:
 - ✓ Mantenimiento del equipo, de los edificios, de los vehículos, etc.
 - ✓ Salarios para el personal.
 - ✓ Viáticos, gasolina, etc.
 - ✓ Otros costos asociados.

Una verificación adecuada de los costos de funcionamiento también permitirá definir la necesidad de los costos extra o adicionales a que hubiere lugar.

2.8.1.4 PERSONAL DE MONITOREO

En comparación con los años noventa, la naturaleza del monitoreo ha tenido cambios importantes debido al desarrollo de software para mejorar las radiocomunicaciones. Este cambio ha causado un impacto importante en el conocimiento que hoy en día debe tener el personal de monitoreo. En el pasado, equipos como los receptores eran instalados en el cuarto de monitoreo y controlados por su personal. Hoy, en contraste, el equipo de monitoreo moderno es controlado mediante acceso remoto. Los pantallazos en el PC del cuarto de control son, prácticamente, las únicas herramientas de trabajo de los operadores.

El nuevo equipo disponible es capaz de recolectar una gran cantidad de datos que deben ser analizados para poder producir reportes claros y comprensibles. De igual manera, la nueva tecnología de comunicación digital requiere que las labores de monitoreo sean abordadas con un enfoque basado en análisis de software.

Las recomendaciones UIT-R SM.1809 [7] y SM.1793 [43] son ejemplos perfectos de cómo observar el espectro de una manera moderna.

Por esta razón, es de vital importancia que el personal de monitoreo cuente con habilidades en informática en combinación con una formación técnica de alto nivel, para poder llevar a cabo tareas de monitoreo avanzado, e incluso con formación universitaria para la realización de ciertas tareas.

2.8.1.4.1 Gerencia

Los funcionarios con tareas gerenciales incluyen a los gerentes y al personal de la estación de monitoreo, responsables de tomar las decisiones fundamentales en cuanto a la organización y las instalaciones del servicio de monitoreo. Estas decisiones incluyen:

- La estructura y procedimientos administrativos dentro de la organización.
- Los procedimientos operacionales en las estaciones de monitoreo.
- Tecnología necesaria.
- Interrelaciones económicas.
- Leyes.

Los gerentes de las estaciones deben haber trabajado preferiblemente como operadores o personal técnico en las estaciones de monitoreo.

2.8.1.4.2 Operadores

Los operadores realizan las funciones de control y deben estar familiarizados con las normas técnicas y reglamentos que aplican a los servicios de radiocomunicaciones y con el equipo técnico apropiado. Debido al uso cada vez mayor de sistemas automatizados con control de software, es necesario que cuenten también con conocimientos técnicos. Tanto los ingenieros como los técnicos deben estar calificados adecuadamente para trabajar como operadores, ellos adquieren el conocimiento especializado en el sector de las radiocomunicaciones, básicamente a través del entrenamiento que reciben durante su trabajo.

2.8.1.4.3 Mantenimiento/Servicio técnico

Los operadores calificados adecuadamente a veces pueden realizar tareas técnicas, incluyendo la instalación y mantenimiento de los equipos en las estaciones de monitoreo más pequeñas. Sin embargo, es más práctico tener separado al personal de modo que los operadores puedan concentrarse en sus funciones de control. El personal técnico y de mantenimiento no necesita ningún conocimiento especial de los servicios de radiocomunicaciones.

2.8.1.4.4 Personal de oficina

El personal administrativo debe estar familiarizado con el software de computador, incluyendo procesadores de texto y hojas de cálculo.

2.8.1.5 ENTRENAMIENTO

En muchos países, anteriormente el entrenamiento del personal no se reconocía como elemento importante en las actividades diarias de la actividad de monitoreo.

Debido al cambio rápido y constante de la tecnologías de la comunicación es obvio que también el nivel de conocimiento del personal de monitoreo debe mantenerse a la par de estos avances.

Hoy en día, se debe considerar normal el entrenamiento como un elemento esencial dentro de las tareas del personal de monitoreo, para lo cual se recomienda que todo el personal tome tres semanas de entrenamiento al año.

El entrenamiento puede incluir, por ejemplo:

- Desarrollo de los planes de acción del organismo gestor con respecto al espectro radioeléctrico en el país.
- Nuevas tecnologías en las radiocomunicaciones.
- Nuevas técnicas de monitoreo.
- Protocolos de medición relacionados con el monitoreo.
- Entrenamiento en la actualización de Tecnologías de la Información (IT).
- Cómo escribir un reporte.
- Procedimientos administrativos, etc.

2.8.2 Plan Anual de Inspección

En la sección 2.8.1 se describen los principios para elaborar y aplicar un Plan de Trabajo Anual de Monitoreo. De forma similar, se requiere de un Plan Anual de Inspección (PAI) donde se presenten las actividades planeadas para el año siguiente y se haga una descripción del objeto de todas las actividades de inspección a realizar.

De otro lado, para las tareas de inspección se debe contar con un Plan Operacional de Inspección (POI), en el que se debe indicar a qué grupo de usuarios (servicios) aplicarán las inspecciones, qué inspecciones en sitio se llevarán a cabo y cuándo.

2.8.3. Plan Anual de Investigación

Al igual que para el monitoreo y la inspección, la investigación también requiere transparencia en sus actividades diarias, así que debe existir un plan de trabajo anual basado en los principios descritos en el numeral 2.8.1.

Los departamentos del organismo gestor deben discutir las políticas de investigación e incautación de equipos. Por ejemplo, en lugar de llevar a los usuarios no autorizados ante la justicia, un plan de acción puede considerar que los usuarios ilegales o no autorizados, en algunos casos, logren cobijarse bajo una licencia para el uso del espectro radioeléctrico.

2.9 Principios de trabajo

Es deber de la administración optimizar la eficiencia del trabajo en las actividades de monitoreo, inspección y vigilancia. Son muchas las situaciones en las que a causa de una cantidad innecesaria de recurso humano este se desperdicia, por ejemplo, llevando a cabo en campo las investigaciones sobre algún caso de interferencia en particular, cuando se podrían utilizar las estaciones fijas disponibles para analizar primero el caso. Al igual que para la inspección, primero se debe determinar si se pueden obtener los mismos resultados a través de una inspección remota.

Como principio de trabajo aplica la siguiente filosofía: *Lo que puede hacerse utilizando el equipo y las instalaciones de las estaciones de monitoreo (fijas y/o remotas) no debe hacerse utilizando las estaciones de monitoreo móviles.*

Este principio también aplica para las tareas de inspección. Apoyándose en varias mediciones realizadas en el monitoreo, es posible comparar los valores predichos teóricamente y en muchos de los casos esto nos llevará a encontrar una conformidad con las diferentes reglas. Si luego de haber realizado esta comparación queda evidenciada la necesidad de realizar una inspección en sitio, entonces se estarán utilizando los recursos de forma efectiva. De hecho, al utilizar los resultados del monitoreo de esta manera, estos se convierten en un instrumento de gerencia para optimizar el proceso de trabajo de la administración de gestión del espectro.

2.10 Bases de datos

Esta sección describe los datos (información) que se incluirán en la base de datos central, según como fueron recolectados a través de la verificación del espectro radioeléctrico,

mediante las funciones de monitoreo, inspección y vigilancia. De acuerdo con lo indicado en la sección anterior, mediante este proceso se facilita el acceso a esta información a otros elementos funcionales de la organización de la gestión del espectro, necesaria en sus tareas diarias.

2.10.1 *Monitoreo*

El monitoreo recopila los datos del uso del espectro a través de varias actividades dentro de las cuales se encuentran, entre otras, las siguientes:

- Ocupación de la banda de frecuencia.
- Ocupación de canal.
- Mediciones.
- Manejo de la interferencia.
- Uso ilegal.
- Inspección remota.

La información detallada sobre las mediciones mencionadas anteriormente se incluye en el siguiente capítulo.

2.10.2 *Inspección*

De igual manera, todos los datos relacionados con la inspección de estaciones se almacenan en la base de datos central. Esto incluye todo tipo de inspecciones, no solo para la radio móvil privada sino también para las estaciones aeronáuticas y de radiodifusión. Según lo mencionado en la sección anterior, también se incluyen los datos recolectados a través del monitoreo remoto.

2.10.3 *Interferencias*

Es importante saber en qué frecuencias ha sido denunciada una interferencia. Las infracciones al uso del espectro según lo establecido en las regulaciones nacionales, así como aquellas relacionadas con las condiciones de la licencia, pueden no solo motivar sanciones

a los usuarios que infrinjan estas regulaciones, sino también ofrecer información para mejorar el uso del espectro radioeléctrico. Con los datos disponibles en un nuevo reporte de interferencias también se puede lograr una resolución más rápida de la interferencia reportada, por eso todos los datos relacionados con el manejo de la interferencia se guardan en la base de datos central.

2.10.4 Uso ilegal

Para utilizar el espectro radioeléctrico se debe contar con una licencia o se debe cumplir con alguna de las normas especiales que excluyen el requerimiento de contar con una licencia. Algunos ejemplos de estas excepciones son: 1) uso del espectro para dispositivos de corto alcance y 2) uso militar y seguridad del Estado.

En caso que el espectro se utilice sin autorización, esto puede resultar en un espectro no utilizable para los actuales y potenciales usuarios del espectro y, como consecuencia, en reportes de interferencia. A pesar de que no es posible garantizar un espectro totalmente libre de interferencias, es tarea de una administración de gestión del espectro prevenir el uso ilegal y, por tanto, evitar la formulación de reportes de interferencias.

A través del monitoreo, la inspección y vigilancia del espectro radioeléctrico se puede recolectar información acerca del uso ilegal y almacenarla en la base de datos central de manera que esté disponible para sus usuarios.

2.11 Acceso a varias bases de datos

El acceso en línea a los datos almacenados en la base de datos central es esencial para optimizar la variedad de actividades que permiten la utilización eficiente del espectro.

No solo es necesario el acceso en línea para las estaciones de monitoreo fijas, sino también para el personal de monitoreo de las estaciones móviles y el personal de inspección e investigación. Para organizar este acceso, la administración encargada de la gestión del espectro debe crear enlaces de comunicación seguros con las unidades móviles, lo cual incluye, también, el almacenamiento de datos desde estas.



CAPÍTULO 3

MONITOREO

3.1 Introducción

Este capítulo describe la función de monitoreo y su papel en el proceso de gestión del espectro, las tareas propias de esta actividad y la manera como se deben realizar las mediciones. Además, contiene información que muestra la forma en la que el monitoreo puede mejorar la realización de ciertas actividades específicas en la gestión del espectro.

3.2 El papel del monitoreo

El monitoreo del espectro se puede definir como el proceso de observar el espectro de radiofrecuencia y reportar su uso.

Normalmente, el reporte se hace en beneficio de los departamentos que trabajan dentro de la organización encargada de la gestión del espectro, como el departamento de gestión de frecuencias, departamento de licenciamiento, departamento responsable de verificación, vigilancia y control del espectro y los clientes externos.

Dado que el espectro radioeléctrico se utiliza 24 horas al día, el proceso de monitoreo debe realizarse durante el mismo tiempo, ya que solo así se puede obtener una visión total del uso de la banda de frecuencia observada.

En relación con los otros departamentos involucrados dentro del sistema de gestión del espectro, se puede decir que el monitoreo es “los ojos y los oídos” del proceso de ges-

tión. El monitoreo es necesario en la práctica ya que el uso autorizado del espectro no necesariamente se da en la forma prevista. El sistema de monitoreo proporciona un método de verificación que cierra la espiral del proceso de gestión, apoya funciones específicas de la gestión, como la atribución de frecuencias y la planeación, y en general sirve de soporte a la totalidad del proceso.

Debido a la extensión del espectro utilizado en las bandas de frecuencia más altas, se requiere que las estaciones de monitoreo fijas estén dispersas por todo el territorio nacional o que se utilice un gran número de estaciones móviles. Como, por diversas razones, las administraciones podrían no estar en capacidad de supervisar todas las bandas y todos los parámetros significativos, se recomienda considerar posibilidades de cooperación con los proveedores de servicios de telecomunicaciones, radiodifusores y organizaciones gubernamentales u otras organizaciones, como autoridades marítimas y aeronáuticas, para realizar las actividades de monitoreo de una manera más efectiva.

La finalidad del monitoreo del espectro es apoyar el proceso de gestión en general, incluyendo la asignación de frecuencias y las funciones de planificación y aplicación de la normatividad del espectro. Los objetivos del monitoreo son los siguientes, sin establecer un orden prioritario:

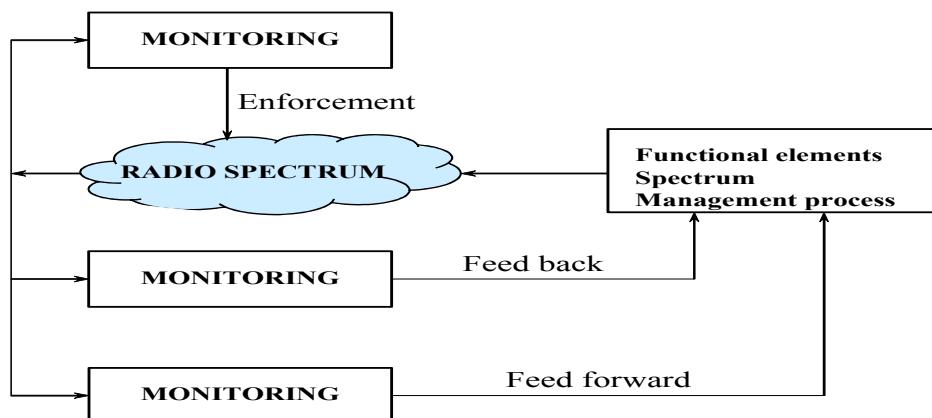
- Proporcionar información al proceso de gestión del espectro electromagnético en lo que se refiere al uso real de frecuencias y bandas (por ejemplo, la ocupación del canal y la congestión de la banda), la verificación apropiada de las características operacionales y técnicas de las señales transmitidas, la detección e identificación de transmisores ilegales, y la generación y verificación de los registros de frecuencia.
- Asistir en la resolución de interferencia radioeléctrica del espectro a escala local, regional o global, de modo que los servicios de radio y las estaciones puedan coexistir compatiblemente, reduciendo y minimizando los recursos asociados a servicios de instalación y funcionamiento de las telecomunicaciones, logrando un beneficio económico para la infraestructura del país, mediante el acceso a servicios de telecomunicaciones sin interferencias.
- Contribuir en el aseguramiento de una calidad aceptable de recepción de radiodifusión sonora y televisión para el público en general.
- Proporcionar información de monitoreo valiosa para los programas de radiocomunicaciones.
- Contribuir con información útil a la UIT, que utiliza en la elaboración de informes para las conferencias de radiocomunicaciones.
- Brindar asistencia especial para la eliminación de interferencia perjudicial, ayudando en la limpieza de operaciones de banda o asistiendo a las administraciones para encontrar frecuencias convenientes.

- El monitoreo también es útil para identificar necesidades en cuanto a futuros requerimientos del espectro.

El papel del monitoreo en el proceso de gestión del espectro se muestra mediante el siguiente gráfico simplificado, Figura 7:

FIGURA 7

El monitoreo dentro del proceso de gestión del espectro



Nota 1: El espectro se utiliza para todos los diferentes tipos de transmisiones de radiocomunicaciones y todos los distintos elementos dentro del sistema de gestión del espectro (por ejemplo, atribución de frecuencias, asignación, aplicación) son de gran importancia para el uso eficiente y eficaz del espectro. Por su parte, las autoridades nacionales se encargan de establecer las normas para el uso del espectro radioeléctrico mediante la regulación de la licencia de asignación de frecuencias, el establecimiento de los parámetros técnicos de operación, etc.

Nota 2: El servicio de monitoreo observa el espectro radioeléctrico y el radiooperador de monitoreo determina si se está utilizando de conformidad con las políticas de utilización establecidas para la de gestión de este recurso (retroalimentación).

Nota 3: Durante la observación del radioespectro, el monitoreo puede también proporcionar información a las diferentes áreas de gestión del espectro en cuanto a utilizaciones no previstas. Cuando la gestión del espectro determina la posibilidad de nuevos servicios antes de formular una política de utilización (regulación) para ese nuevo servicio, el monitoreo puede ayudar en el análisis y contribuir anticipadamente a decidir sobre su viabilidad.

Nota 4: El monitoreo puede guiar a los usuarios del espectro radioeléctrico en los casos de interferencia o de infracciones técnicas a las regulaciones nacionales o internacionales, proporcionándoles pautas que les ayuden a evitarlas o prevenirlas. Esta actividad se denomina de vigilancia o control.

3.3 Mediciones

3.3.1 Introducción

Esta sección describe las mediciones que debe llevar a cabo el área de monitoreo para verificar, controlar y examinar el espectro radioeléctrico.

3.3.2 Principios básicos para las mediciones

Al llevarse a cabo las mediciones se deben tener en cuenta una serie de principios y sus efectos.

3.3.2.1 MEDICIONES EN EL DOMINIO DEL TIEMPO Y LA FRECUENCIA

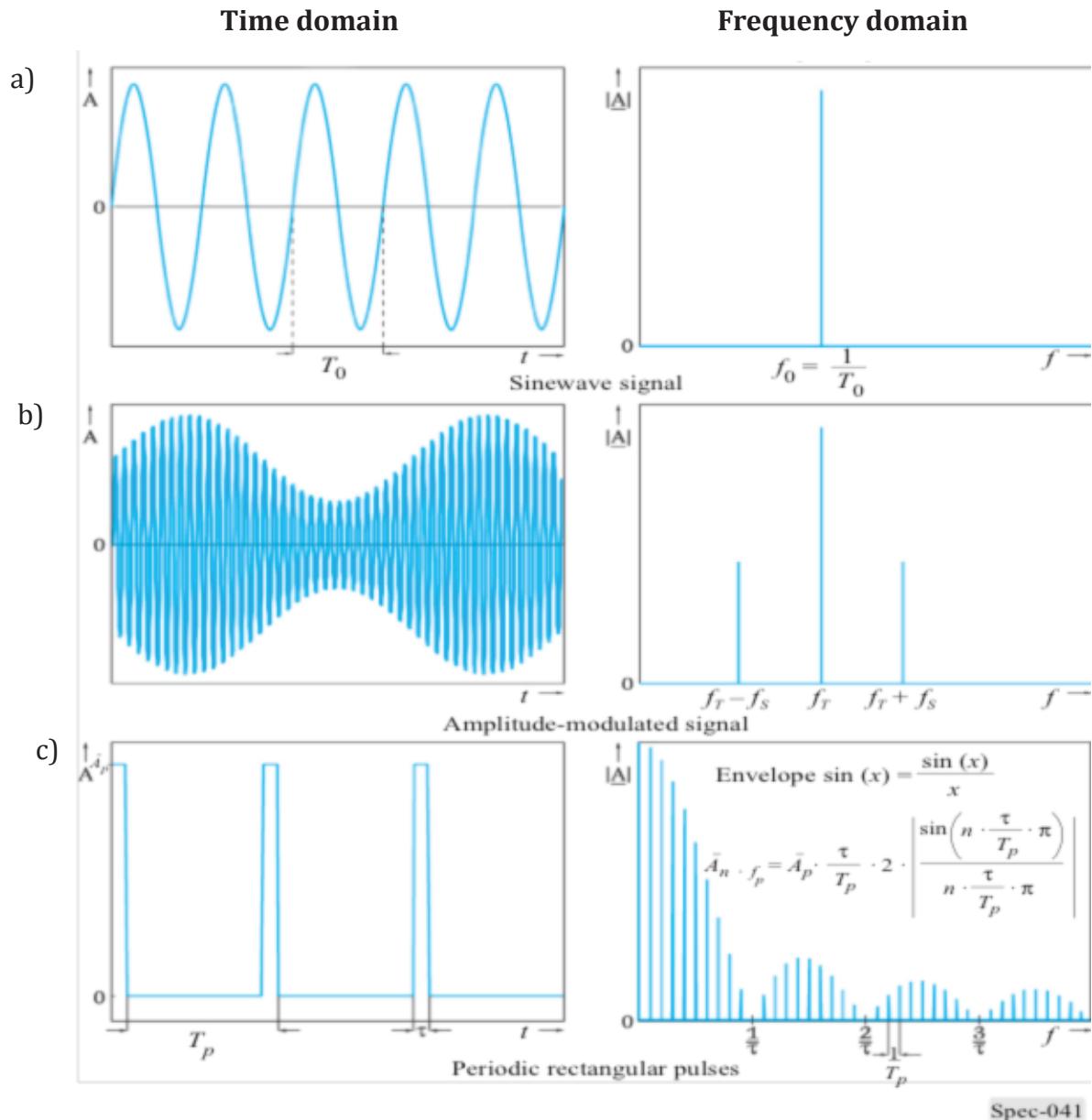
Las señales recibidas en una estación de monitoreo pueden ser caracterizadas usando el dominio del tiempo, de la frecuencia o de la fase.

Estas tres maneras de analizar un problema son en cierto grado intercambiables, e introduciendo los tres dominios existe la ventaja de contar con varias perspectivas. Se pueden solucionar problemas difíciles realizando mediciones en el dominio de la frecuencia o de la fase, sin necesidad de abordar la medición desde la perspectiva del dominio de tiempo. Una vez desarrollados los conceptos para cada dominio, presentaremos los tipos de instrumentación disponibles y discutiremos los méritos de cada tipo genérico de instrumento, con el fin de permitir al lector una apreciación de las ventajas y desventajas de cada enfoque.

La Figura 8 muestra un ejemplo de señales periódicas en dominios de tiempo y frecuencia.

FIGURA 8

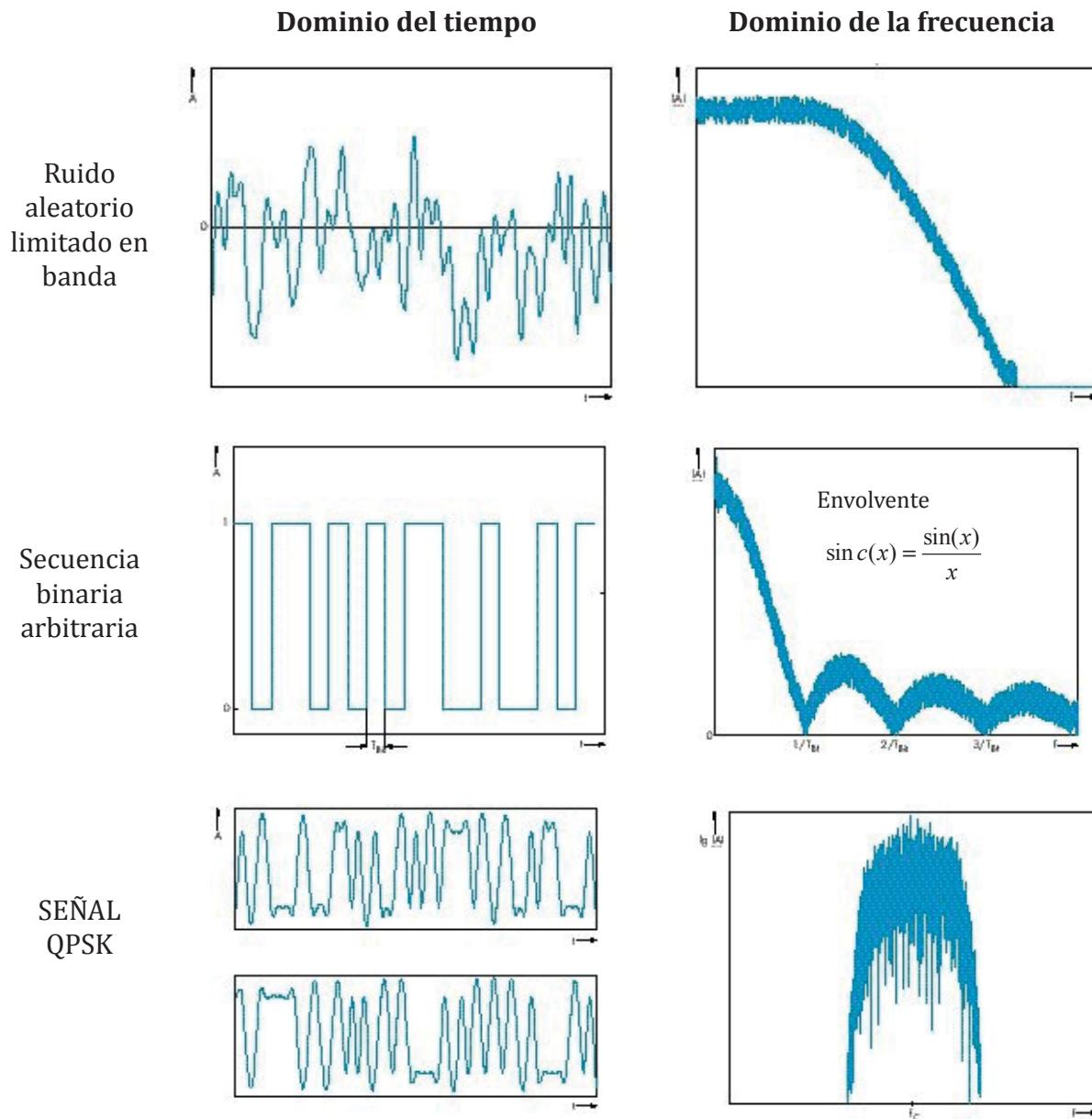
Señales periódicas en dominios de tiempo y frecuencia



Spec-041

FIGURA 9

Algunas señales aperiódicas en dominios de tiempo y frecuencia



La representación del dominio de frecuencia ha sido especialmente adaptada para observar la ocupación de canal, la interferencia, los productos armónicos y las emisiones esporádicas. Además, las características de visualización de los diferentes modos de modulación (por ejemplo, modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK, por sus siglas en inglés), modulación por desplazamiento de fase (PSK, por sus siglas en inglés) y radiodifusión de audio digital (DAB, por sus siglas en inglés), etc.), en ocasiones, permiten identificar el tipo de modulación. La representación del dominio de tiempo muestra la dependencia con el tiempo de la amplitud de la señal y, por tanto, permite determinar el tiempo para su correcta medición (ejemplo, para el detector de picos).

Cuando se investigan emisiones de sistemas digitales, el dominio de tiempo ayuda a medir parámetros de multiplexación por división de tiempo, tales como ráfagas y tiempos de inactividad, número de intervalos de tiempo ocupados y aumento de la potencia.

El dominio de tiempo puede ser adaptado para detectar y analizar ráfagas de señal de corta duración o efectos transitorios que no son detectados por los analizadores de espectro tradicionales.

El planteamiento anterior trata con el enfoque frecuencia vs. amplitud y tiempo vs. amplitud. Otra visión útil y de interés para el monitoreo puede ser, por ejemplo, la cascada, para determinar la ocupación de frecuencia del espectro. Esta representación se basa en frecuencia vs. tiempo, donde los valores de la amplitud son proporcionados gracias a la escala adicional de colores.

3.3.2.2 MEDICIÓN VECTORIAL EN EL DOMINIO DE FASE Y AMPLITUD

La mayoría de los sistemas digitales de radiocomunicaciones modulan la fase de la portadora de RF (por ejemplo, PSK, modulación por desplazamiento de fase en cuadratura (QPS), etc.), o la fase y la amplitud juntas (QAM, modulación de amplitud en cuadratura). Sin embargo, a través del dominio de frecuencia no es posible conocer información sobre la fase. Para mostrar dicha información, la emisión se representa mediante un diagrama de constelación. La longitud del vector desde el origen, hasta cada uno de los puntos del diagrama de constelación, representa la amplitud de la señal; mientras que el ángulo entre el eje-x positivo y el vector, medidos en dirección contraria a las manecillas del reloj, representan la fase. El componente "I" de la señal que se encuentra dentro la fase, es representado en el eje-X (REAL) y el componente de la cuadratura ("Q") en el eje -Y (IMAG).

Un analizador vectorial de señal se utiliza para mostrar el dominio de fase de la señal, en ciertos puntos definidos del tiempo. La frecuencia de repetición de esta representación tiene que ser igual a la tasa del símbolo transmitida. Para poder tener un funcionamiento estable, el analizador debe estar sincronizado con la señal, para lo cual es necesario conocer el tipo de señal o por lo menos la tasa del símbolo.

En los casos simples, cuando se conocen el modo de transmisión y el esquema de codificación, el análisis se puede hacer en tiempo real. De esta manera, los analizadores vectoriales modernos pueden mostrar la secuencia de la señal binaria o descifrar los caracteres codificados.

Sin embargo, cuando se trata de un esquema más sofisticado de modulación y en los casos en los cuales no se conoce el esquema de modulación o la codificación al momento de la recepción de tiempo, se debe llevar a cabo un procesamiento subsecuente para descifrar el código transmitido.

3.3.2.3 INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

3.3.2.3.1. Generalidades

Cada resultado de medición debe ir acompañado de una afirmación de incertidumbre, para que el resultado sea considerado como completo. La estación de monitoreo es la que determina esta incertidumbre para cada tipo de medición, y debe ser considerada al momento de establecer el cumplimiento o no cumplimiento de alguno de los límites regulatorios. Las mediciones reglamentarias incluyen la medición de frecuencia, los niveles de señal y ocupación de banda. En estos casos, los límites reglamentarios definen los límites máximos de despliegue de frecuencia, potencia efectiva radiada (E.R.P.) y ancho de banda ocupado.

Los términos “incertidumbre”, “error” y “exactitud” se utilizan frecuentemente, pero no siempre en forma correcta. En cada caso en que se realiza una medición, hay un valor medido que difiere del valor real de la medición. Si el valor real fuera conocido, entonces el error podría ser expresado como la diferencia entre el valor medido y el valor real.

Ya que no se conoce el valor real (solamente existen estimaciones a partir de los valores medidos), se habla entonces de una incertidumbre asociada con un valor medido. La incertidumbre absoluta es una cantidad que se expresa en la misma unidad que la medida misma y describe un intervalo dentro del cual cae el valor con una determinada probabilidad. La incertidumbre relativa es el cociente de la incertidumbre absoluta y el mejor estimado posible del valor real. Entre menor sea la incertidumbre, más alta es la exactitud que, de todos modos, es difícil de cuantificar.

La incertidumbre de medición para una estación de monitoreo debe ser evaluada para aquellas mediciones a las que nos referiremos en los siguientes apartados, teniendo en cuenta cada una de las cantidades que se detallarán. La incertidumbre estándar $u(x_i)$ en decibeles y el coeficiente de sensibilidad c_i deben ser evaluados para el estimado x_i de cada cantidad. El estándar combinado de incertidumbre $u_C(y)$ del estimado y de la medición, se calcula como la suma ponderada de los cuadrados (r.s.s, por sus siglas en inglés):

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_i c_i^2 u^2(x_i)} \quad (1)$$

La incertidumbre de medición expandida U_{ms} para una estación de monitoreo se calcula:

$$U_{ms} = 2 u_c(y) \quad (2)$$

donde y debe ser establecido en el informe de medición.

Nota: El factor de cobertura $k = 2$ da como resultado un 95% de confiabilidad para una distribución típicamente cercana a lo normal de la mayoría de los resultados de medición.

El cumplimiento o incumplimiento de un límite regulatorio se puede determinar desde alguna de las siguientes perspectivas:

Perspectiva 1: Una U_{ms} tan pequeña como sea posible (V_{meas} es el valor medido):

Para el operador de un servicio de radio:

-Se cumple con un límite cuando $V_{meas} + U_{ms}$ se encuentran dentro del límite.

Para el regulador:

-Se incumple con un límite cuando $V_{meas} - U_{ms}$ se encuentran por fuera del límite.

Perspectiva 2: La incertidumbre de medición U_{ms} no debe exceder la incertidumbre máxima recomendada U_{Rec} :

Si la U_{ms} es inferior o igual a la U_{Rec} , entonces:

-Se cumple con el límite cuando ninguno de los valores medidos excede el límite.

-Se incumple con el límite cuando alguno de los valores medido excede el límite.

Para el operador: Si la U_{ms} es mayor que la U_{Rec} en la Tabla 1, entonces:

-Se puede decir que hay cumplimiento si ninguno de los valores medidos, incrementado mediante ($U_{ms} - U_{Rec}$), excede el límite.

-Se puede decir que hay incumplimiento si alguno de los valores medidos, incrementado mediante ($U_{ms} - U_{Rec}$), excede el límite.

Para el regulador: Si la U_{ms} es mayor que la U_{Rec} en la Tabla 1, entonces:

-Se puede decir que hay cumplimiento si ninguno de los valores medidos reducido mediante ($U_{ms} - U_{Rec}$), excede el límite.

-Se puede decir que hay incumplimiento si alguno de los valores medidos, reducido mediante ($Ums - URec$), excede el límite.

TABLA 1
Modos de propagación y usos para varias bandas de frecuencia

Medición	$URec$
Medición de frecuencia	10^{-7} (1)
Medición de intensidad de campo y densidad de flujo de potencia	2 o 3 dB(2)
Medida del ancho de banda ocupado	5%
Otros	Bajo consideración

(1) La medición de la incertidumbre de frecuencia requerida depende del servicio que se pretende medir.

(2) 2 dB por debajo y 3 dB por encima de 30 MHz (se excluyen los efectos de bloqueo y reflexión).

3.3.2.3.2 Comentarios con respecto a las cantidades de entrada

La incertidumbre asociada a un estimado x_i de una cantidad de entrada en la Tabla 2 es la mayor incertidumbre posible dentro del rango de frecuencias presentadas en esa tabla, siempre y cuando sea compatible con la exactitud de medida especificada en la Recomendación UIT-R SM.378-7 [2].

TABLA 2

Valores de cantidades de entrada entre 30 MHz y 3000 MHz

(Debe ser calculado para cada antena individual, polarización y sub-rango)

Cantidad de entrada	Note	X_i	Incertidumbre de x_i		$u(x_i)$ (dB)	c_i	$(c_i u(x_i))^2$ (dB)
			(dB)	Pr Dist; k			
Lectura del receptor	(1)	V_r	± 0.1	$k = 1$	0.10	1	0.01
Atenuación: antena-receptor	(2)	L_c	± 0.1	$k = 2$	0.05	1	0.0025
Factor de antena	(3)	AF	± 2.0	$k = 2$	1.00	1	1.00
Correcciones del receptor:							
Voltaje de la onda sinoidal	(4)	δV_{sw}	± 1.0	$k = 2$	0.5	1	0.25
Selectividad del receptor	(5)	δV_{sel}	-0.5	Rectangular	0.28	1	0.0784
Proximidad de piso de ruido	(6)	δV_{nf}	± 0.5	$k = 2$	0.25	1	0.0625
Desajuste: antena-receptor	(7)	δM	$\pm 0.9/-1.0$	En forma de U	0.67	1	0.4489
Correcciones del factor de antena:							
Interpolación de frecuencia AF	(8)	δAF_f	± 0.3	Rectangular	0.17	1	0.0289
Desviaciones de altura AF	(9)	δAF_h	± 0.5	Rectangular	0.29	1	0.0841
Diferencia de directividad	(10)	δA_{dir}	± 0.5	Rectangular	0.29	1	0.0841
Polarización cruzada	(11)	δA_{cp}	± 0.9	Rectangular	0.52	1	0.2704
Balance	(12)	δA_{bal}	± 0.3	Rectangular	0.17	1	0.0289
Suma parcial							2.3487
Bloqueo y reflexiones							
Bloqueo	(13)	δSR_1	± 1.0	Rectangular	0.56	1	0.3136
Reflexiones	(14)	δSR_2	± 4.0	Triangular	1.63	1	2.6569
Suma total							5.3192
Entonces: $2 u_c(E) = 4.61$ dB (incluyendo bloqueo y reflexiones)							
$2 u_c(E) = 3.06$ dB (excluyendo bloqueo y reflexiones)							

Los indicadores para los valores de las cantidades de entrada se refieren a los comentarios enumerados más adelante. Las incertidumbres ampliadas deben ser comparadas con los valores de la U_{Rec} en la Tabla 1.

Las suposiciones que dieron lugar a los valores presentados en la Tabla 2, podrían no ser apropiadas para una estación de monitoreo en particular. Cuando una estación de monitoreo evalúa su incertidumbre de medición expandida U_{ms} , debe considerar la información

disponible para su sistema particular de medición, incluyendo las características del equipo, la calidad y nivel de actualización de los datos de calibración, las distribuciones de probabilidad conocidas o probables y los procedimientos de medición.

Para una estación de monitoreo en particular puede resultar beneficioso evaluar sus incertidumbres sobre subdivisiones del rango de frecuencia, particularmente si existe una potencia de entrada dominante que varía significativamente con respecto a ese rango.

Las siguientes notas pretenden orientar a las estaciones de monitoreo en el manejo de datos o situaciones diferentes a las que se presentan aquí:

- 1) Las lecturas del receptor pueden variar por muchas razones, que incluyen: inestabilidad en el sistema de medición, ruido del receptor y errores en la escala de interpolación del medidor. La estimación de V_r es el promedio de muchas lecturas, con un patrón de incertidumbre dado por la desviación estándar experimental del promedio.
- 2) Se presume que en un reporte de calibración está disponible la incertidumbre de atenuación L_c de la conexión entre el receptor y la antena, junto con la incertidumbre expandida y un factor de cobertura.
- 3) Se presume que en un reporte de calibración está disponible un estimado del espacio libre del factor de la antena AF , junto con una incertidumbre expandida y un factor de cobertura.
- 4) Se presume que en un reporte de calibración está disponible un estimado de la corrección δV_{sw} para la exactitud del voltaje de la onda sinusoidal del receptor, junto con una incertidumbre expandida y un factor de cobertura.

Comentario: Si un informe de calibración indica solamente que la exactitud del voltaje de la onda sinusoidal del receptor se encuentra dentro una tolerancia determinada ($2dB \pm$), entonces el estimado de la corrección V_{sw} se debe tomar como cero, con una distribución de probabilidad rectangular con ancho medio de 2 dB.

- 5) La δV_{sel} tiene en cuenta la incertidumbre debido a la resolución limitada del ancho de banda del receptor de medición o analizador de espectro, incluyendo la incertidumbre de cualquier factor que compense el efecto del ancho de la resolución limitada del ancho de banda. Por ejemplo, un detector RMS se utiliza para la medición de una señal con acceso múltiple por división de código (CDMA, por sus siglas en inglés), con una medición de ancho de banda de 10% del ancho de banda ocupado. En ese caso, el factor de corrección será 10 dB y la incertidumbre de este factor de corrección se encuentra en el orden de 0.5 dB en el caso de una tolerancia del ancho de banda de $\pm 10\%$.

- 6) Dependiendo de la distancia de la antena de transmisión, el piso de ruido de un receptor de medición puede o puede no estar lo suficientemente por debajo del voltaje de entrada, como para que su efecto sea insignificante en los resultados de la medición.
- 7) En términos generales, la antena estará conectada al puerto 1 de una red de dos puertos, cuyo puerto 2 termina en un coeficiente de reflexión Γ_r . La red de dos puertos, que puede ser un cable, un atenuador, un atenuador y un cable, o alguna otra combinación de componentes, se puede representar por medio de sus parámetros – S. La corrección del desajuste es entonces:

$$\delta M = 20 \log_{10} \left[(1 - \Gamma_e S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r \right] \quad (3)$$

donde Γ_e es considerado el coeficiente de reflexión que mira hacia el puerto de salida de la antena, cuando esta es preparada para la medición de la intensidad de campo. Todos los parámetros se toman con respecto a 50Ω .

En los casos en los que solo se conocen las magnitudes o las magnitudes extremas de los parámetros, no es posible calcular M . Sin embargo, sus valores extremos M^\pm no son mayores que:

$$\delta M^\pm = 20 \log_{10} \left[1 \pm \left(|\Gamma_e| |S_{11}| + |\Gamma_r| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{11}| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2 \right) \right] \quad (4)$$

La distribución de probabilidad de δM tiene una forma similar a la de una ‘U’, con un ancho no mayor a $(\delta M^+ - \delta M^-)$ y una desviación estándar no mayor al ancho medio dividido por $\sqrt{2}$. Para las mediciones de intensidad de campo se asumió una especificación para la antena de $VSWR \leq 2.0:1$ lo cual implica que $|\Gamma_e| \leq 0.33$. También se asumió que la conexión al receptor se realizó por medio de un cable bien ajustado ($|S_{11}| \ll 1$, $|S_{22}| \ll 1$) con una atenuación insignificante ($|S_{21}| \approx 1$), y que la atenuación RF del receptor fue de 0 dB, para lo cual el $VSWR \leq 2.0:1$ implica $|\Gamma_r| \leq 0.33$. La estimación de la corrección M fue cero con una distribución de probabilidad en forma de “U”, con un ancho igual a la diferencia de $(\delta M^+ - \delta M^-)$.

Comentario: Las expresiones para δM y δM^\pm demuestran que al aumentar la atenuación de la red de dos puertos bien ajustada, la cual precede al receptor, se puede reducir el error de desajuste. La consecuencia es una reducción en la sensibilidad de la medición.

Para algunas antenas en ciertas frecuencias, el VSWR puede ser mucho mayor que 2.0:1.

Cuando se utiliza una antena compleja se deben tomar precauciones para asegurar que la impedancia observada por el receptor cumpla con la especificación $VSWR \leq 2.0:1$.

- 8) Cuando un factor de antena se calcula por la interpolación entre frecuencias en las cuales está disponible la incertidumbre asociada con dicho factor, la incertidumbre asociada con ese factor de antena depende del intervalo de la frecuencia entre los puntos de calibración y la variabilidad del factor con la frecuencia. Trazar el factor calibrado de la antena contra la frecuencia ayuda a visualizar la situación.

La estimación para la corrección δAf_f para el error de interpolación del factor de la antena fue de cero, con una distribución de probabilidad rectangular con ancho medio de 0.3 dB.

Comentario: En cualquier frecuencia en la que se cuente con un factor de antena calibrado, no es necesario tener en cuenta la corrección δAf_f .

- 9) Para una antena compleja, la dependencia de la altura del factor de la antena considerada para una incertidumbre dada será diferente a la de una antena dipolo. La estimación de la corrección δAf_h fue de cero con una distribución de probabilidad rectangular con ancho medio, evaluada a partir del comportamiento del factor de la antena bicónica o log-periódica con la altura.
- 10) Las respuestas de una antena compleja en cualquier dirección deben considerarse como relativas a la dirección del lóbulo principal, para el cual se ha medido el factor de la antena.

La corrección $\delta Adir$ fue de cero con una distribución de probabilidad rectangular que tenía el ancho apropiado.

Comentario: Una estimación de $\delta Adir$ que no sea de cero con incertidumbre reducida, podría ser evaluada a partir del patrón de la antena de medición y aplicado como una función de la frecuencia y el ángulo de incidencia.

- 11) Usualmente, la respuesta de polarización cruzada de una antena dipolo puede considerarse como insignificante. El estimado de la corrección para la respuesta de polarización cruzada δA_{cp} de una antena log-periódica fue de cero con una distribución de probabilidad rectangular con ancho medio de 0.9dB que corresponde a los límites de tolerancia de respuesta de polarización cruzada de -20dB establecidos por el CISPR 16-1[3] (International Special Committee on Radio Interference).

Comentario: Si se utiliza una antena dipolo para la medición, la corrección δACP no es significativa.

- 12) El efecto de una antena desbalanceada es mayor cuando se alinea el cable coaxial de entrada paralelamente a los elementos de la antena. La estimación de la corrección \deltaAbal para la antena desbalanceada fue de cero, con una distribución de probabilidad rectangular con un ancho medio evaluado a partir del funcionamiento de antenas disponibles en el mercado.
- 13) Los efectos de bloqueo pueden ser considerables en el caso de las estaciones de monitoreo fijas. El estimado de la corrección $\deltaSR1$ fue cero, con una distribución de probabilidad rectangular con un ancho medio de 1 dB como ejemplo. Es difícil estimar el efecto de bloqueo de, por ejemplo, un edificio.
- 14) Los efectos de las reflexiones pueden ser reducidos promediando la intensidad de campo con las variaciones de altura de la antena y la variación de la posición del vehículo en el caso de las estaciones de monitoreo móviles.

3.3.2.3.3 Incertidumbres del equipo

También se deben considerar las incertidumbres del equipo, tales como los resultados de calibración y las incertidumbres proporcionadas por el fabricante.

3.3.3 *Mediciones de la ocupación del espectro*

3.3.3.1 OBSERVACIONES GENERALES

Este capítulo se ocupa de las mediciones de la ocupación del espectro, este término se refiere al registro de emisiones durante cierto tiempo. A partir de los datos recogidos sin procesar se puede producir un número casi ilimitado de diagramas, tablas, etc., como, por ejemplo, la ocupación calculada por banda de frecuencia o por canal que está excediendo un límite de umbral. Las preguntas en cuanto a quién, dónde y cuándo se está ocupando un canal de radiofrecuencia o banda, no se consideran como parte de la ocupación del espectro, sino que son discutidas en la sección 3.3.9.

Los receptores de medición (de banda estrecha o ancha) o los analizadores de espectro, cuyas características se encuentran conformes a las recomendaciones de la UIT-R, se utilizan como equipos de recepción.

Para tomar buenas medidas de la ocupación del espectro, se deben tener en cuenta las publicaciones recomendadas en la bibliografía.

3.3.3.2 TÉCNICAS DE MEDICIÓN

El inventario sobre el uso del espectro radioeléctrico proporciona información a los funcionarios de la administración de frecuencias sobre el uso real del espectro y les da la posibilidad de asignar nuevas frecuencias en una banda. También le proporciona información al Departamento de Administración de Frecuencias sobre las tendencias en el uso del espectro. Esta información se puede utilizar para preparar los puntos de vista nacionales a ser expuestos en conferencias internacionales.

El espectro puede ser monitoreado de manera manual, automática o de ambas formas simultáneamente.

El monitoreo manual, que complementa el monitoreo automático, se requiere en aquellos casos en los cuales es necesario analizar e identificar las emisiones observadas (sección 3.3.9). Sin embargo, el monitoreo manual requiere de mucho trabajo y consume mucho tiempo y solo es conveniente cuando las características básicas no se pueden registrar automáticamente.

Los períodos para el uso de datos y el alcance de ocupación de una banda de frecuencia no se pueden derivar de manera oportuna y conveniente por medios manuales. Si no se desea utilizar la técnica de almacenamiento manual, la técnica del registro automático es recomendable. Lo anterior se basa en las diversas tareas de monitoreo de la ocupación del espectro.

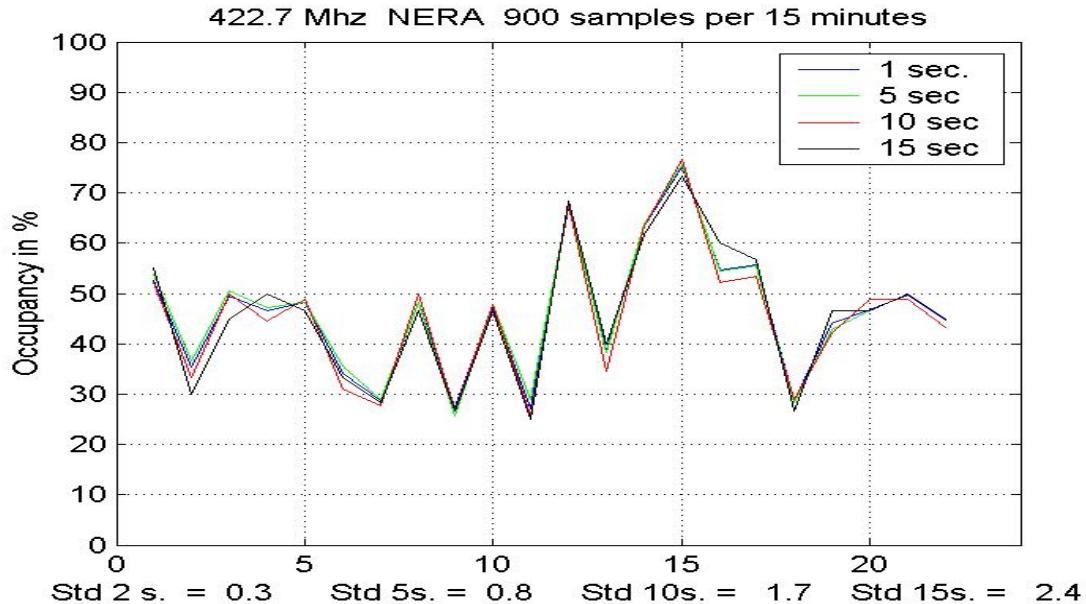
El monitoreo automático se puede dividir en tres métodos diferentes de medición:

- Escanear una banda de frecuencia determinada desde el inicio (F- inicial) hasta el final (F-final), en un número determinado de pasos de frecuencia, por ejemplo, 1000, con un determinado tiempo de escaneo (tiempo de barrido o tiempo de comprobación), de, por ejemplo, 10 segundos, utilizando un filtro con determinado ancho de banda. Esto se realiza normalmente con un analizador de espectro o con un monitor rápido. Los resultados que se visualizan en los diagramas, tablas etc., indican la ocupación en esa banda de frecuencia en particular durante un cierto periodo de tiempo, que es normalmente de 24 horas. Estas mediciones se conocen como mediciones de banda de frecuencia o registros de banda de frecuencia, de acuerdo con la Recomendación UIT-R SM.1809 [7].
- Medir un número de canales predeterminados, que no necesariamente están separados por el mismo espaciamiento entre canales. Estas mediciones se realizan con un receptor y se conocen como mediciones de ocupación de canal de frecuencia de acuerdo con la Recomendación UIT-R SM.1536 [42]).
- Las medidas de la ocupación del canal de frecuencia utilizan las mediciones de la banda de frecuencia como se describe anteriormente. Asumamos que F- de inicio y F- de parada se divide en 1000 pasos de frecuencia. Estos pasos podrían considerarse como canales. En caso de que el tiempo de barrido/escaneo/comprobación

sea, por ejemplo, de 10 segundos, esto significaría que de esos 1000 canales, con base en una medición de 24 horas, estarían disponibles cerca de 8630 muestras. Estos resultados se podrían procesar fácilmente como medición de la ocupación del canal de frecuencia (Recomendación UIT-R SM.1793 [43]). Los estudios han demostrado que un aumento en el tiempo de re-visita de 1 a 10 segundos, no afecta demasiado los resultados, como se muestra en la Figura 10.

Durante todo el periodo de medición, o durante períodos más cortos (de, por ejemplo, una hora), se pueden evaluar muchos parámetros de las emisiones, tales como la intensidad de la señal (valor mínimo, máximo o medio) y el porcentaje del tiempo en el que la señal permanece por encima de cierto nivel de umbral. Los parámetros registrables no están limitados a métodos específicos y pueden determinarse a través de mediciones de la banda de frecuencia y mediciones de ocupación del canal de frecuencia.

FIGURA 10
Comparación de diferentes tiempos de nuevas visitas



La ocupación del espectro puede ser monitoreada con un analizador de espectro o con un monitor, ambos controlados por computador. Una combinación de estos dos equipos tendría poco sentido. Un analizador de espectro o un monitor de ancho de banda tienen la ventaja de tener una velocidad de escaneo más alta, mientras que un monitor permite monitorear frecuencias individuales aleatoriamente. El rango de frecuencia a monitorear depende de los sistemas usados en la banda de frecuencia que se medirán (por ejemplo, la dura-

ción de la transmisión y el ancho de banda) y del equipo utilizado. La ocupación es una función del tiempo en que las señales permanecen por encima de un determinado nivel de umbral.

El monitoreo automático de una emisión proporciona la siguiente información:

UNA VISIÓN GENERAL DEL ESPECTRO

Esta visión no abarca el porcentaje de ocupación del espectro como tal, sino que muestra el uso del espectro en términos generales, incluyendo, entre otras cosas, representaciones de nivel sobre tiempo, tales como espectrogramas de valor mínimo/máximo/medio/promedio, diagramas de cascada, etc.

Ocupación de canal

Una medición clásica de la ocupación revela la ocupación durante un cierto periodo de tiempo, normalmente 15 minutos, representados en porcentaje.

Carga de tráfico

Los datos de ocupación promediados durante períodos de 60 minutos pueden ser expresados como la intensidad de tráfico en Erlang. El comportamiento del tráfico dependiendo del tiempo puede servir de base para determinar los requerimientos del canal y la evaluación de la calidad del servicio (Quality of Service, QoS, por sus siglas en inglés). En este contexto, es de suma importancia determinar la hora pico. La hora pico y la hora ocupada son determinadas por el inicio del intervalo de medición pertinente, por ejemplo, 13:15, y significa la ocupación dentro de un intervalo de medición de, por ejemplo, 13:15 -14:15 horas.

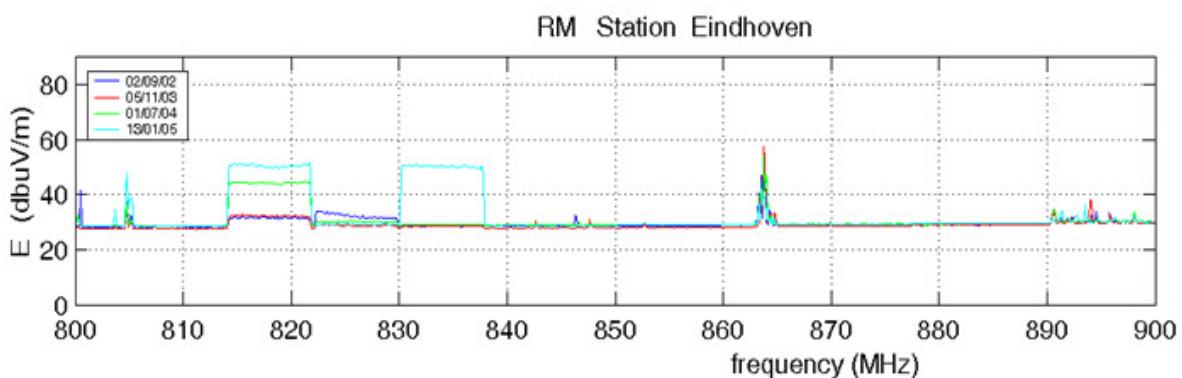
Los análisis de ocupación del espectro no se limitan a registrar emisiones en el espectro, sino que también pueden ser aplicados a los datos registrados por otros equipos de medición, como los analizadores del protocolo.

Además, los análisis de ocupación del espectro, junto con una combinación de diversas fuentes de datos, permiten registrar muchos más parámetros y la presentación de evaluaciones de una manera más diferenciada. Los diagramas y las tablas pueden ser proporcionados automáticamente a partir de la información del usuario que se obtiene a través de, por ejemplo, herramientas de planificación, bases de datos de usuarios y observaciones simultáneas manuales resultantes del monitoreo.

Los ejemplos de los registros que se pueden obtener de los análisis de ocupación del espectro son:

- La determinación del número de usuarios o de la distribución espacial de las aplicaciones.
- El comportamiento de la utilización sobre las funciones de distribución a lo largo de las secuencias de ocupación. Para este tipo de resolución de ocupación es fundamental un buen conocimiento del comportamiento del usuario.
- La determinación de la variabilidad de la utilización o la estabilidad de uso mediante la correlación de los datos de medición de períodos idénticos. Esto se llama monitoreo Delta (comparar los resultados de diferentes mediciones de la misma banda de frecuencia en diferentes fechas, trazando todas las curvas en un diagrama).

FIGURA 11
Ejemplo de monitoreo Delta



3.3.3.3 RECEPTORES PARA EL MONITOREO DE OCUPACIÓN DEL ESPECTRO

Los receptores de monitoreo y analizadores de espectro utilizados para monitorear la ocupación del espectro deben contar con los requerimientos mínimos mencionados en los otros capítulos de este manual. El monitor que se utiliza para la medición de ocupación del espectro debe adaptarse a los siguientes parámetros:

- Proporcionar alta selectividad RF (particularmente, debe haber suficientes filtros RF distribuidos correctamente en la banda de funcionamiento del receptor para prevenir, hasta donde sea posible, la formación de productos de intermodulación).
- Estar equipado con suficientes filtros IF angostos, y/o una salida I/Q, para poder realizar el filtrado IF a través del procesamiento externo de señal digital.
- Estar equipado con un atenuador de pasos.

- Poder utilizar una frecuencia externa estándar.
- Poder medir de manera exacta la intensidad de campo.
- Poder escanear rápidamente los canales seleccionados de una banda de frecuencia, especialmente por encima de 30 MHz.

La necesidad de realizar una medición exacta de la intensidad de campo durante una medición de ocupación depende de la tarea en cuestión. En la mayoría de los casos un valor del voltaje de entrada es suficiente para detectar la ocupación.

Cuando se selecciona un receptor es necesario tener en cuenta el diseño de los circuitos del equipo de medición, ya que esto afecta los resultados de las medidas. Los receptores se pueden fijar a cualquier frecuencia a través de un sintetizador. Sin embargo, su proceso de escaneo es más lento que el de los sistemas de banda ancha basados en FFT. Cuando se utiliza FFT, la medición del ancho de banda se divide en un número fijo de puntos de cálculo y, por lo tanto, no es posible medir cualquier frecuencia. La configuración del equipo de medición se debe tener en cuenta, especialmente en el caso de las mediciones de ocupación del canal, y se debe elegir aquella en la cual los puntos FFT se encuentren en las frecuencias que se medirán.

3.3.3.4 PRINCIPIOS BÁSICOS Y PARÁMETROS DE MEDICIÓN

3.3.3.4.1 Principios de muestreo

En la Figura 12 se muestra una señal típica de intensidad variable con un umbral seleccionado. Los instantes del muestreo se muestran junto con las muestras registradas como “ocupadas”. En este ejemplo, 17 de los 44 períodos de muestreo resultaron estar ocupados, conduciendo a un registro de ocupación del 39%. Esta información se puede resumir en intervalos de 1 min, 5 min, 15 min, 3 h, 6 h, 12 h o 24 h, según lo deseado.

La técnica de muestreo, por lo general, da una buena estimación de la ocupación del canal, siempre y cuando las muestras que se toman sean suficientes para obtener resultados estadísticamente significativos. En la Tabla 3 se puede observar el número de muestras necesarias para obtener un grado razonable de certeza en los resultados.

FIGURA 12

Una señal de intensidad variable típica

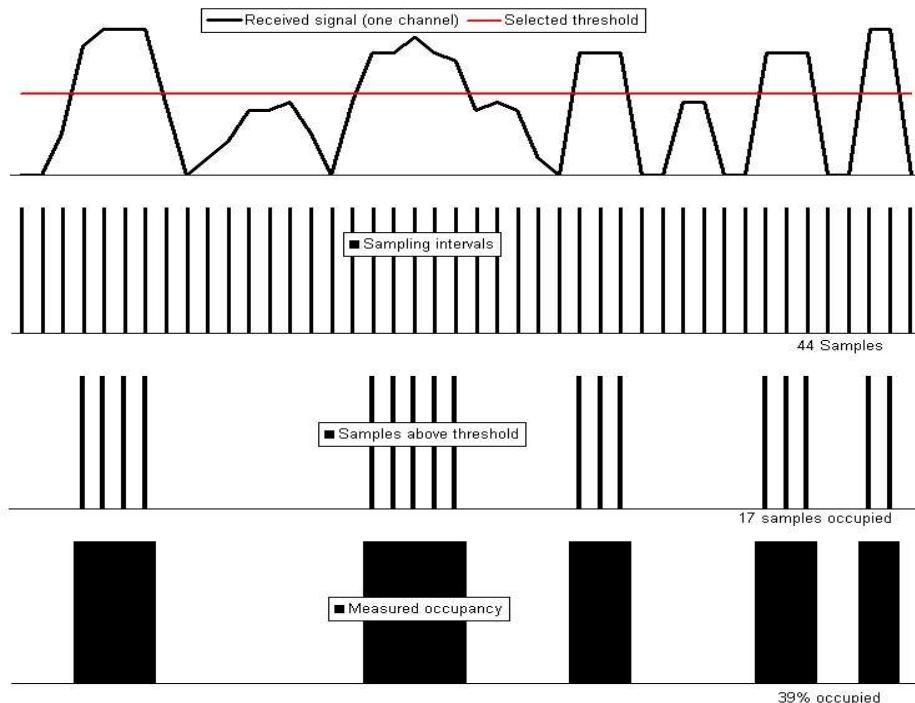


TABLA 3

Tabla de muestras independientes y dependientes

Número de muestras dependientes e independientes necesarias para alcanzar el 10% de exactitud relativa y un nivel de confianza del 95% en los distintos porcentajes de ocupación (se asume un periodo de muestreo de 4 s)

% de ocupación	Número requerido de muestras independientes	Número requerido de muestras dependientes	Horas requeridas para la toma de muestras dependientes
6.67	5368	16641	18.5
10	3461	10730	12.0
15	2117	6563	7.3
20	1535	4759	5.3
30	849	2632	2.9
40	573	1777	2.0
50	381	1182	1.3
60	253	785	0.9
70	162	166	0.2

Para alcanzar cierta exactitud con un intervalo estadísticamente confiable, se necesita un número definido de muestreos. En caso de una ocupación del 100% solamente se requieren algunas muestras para alcanzar un buen resultado. Cuando la ocupación es baja, se necesitan más muestras para tener la misma exactitud y confianza estadística. La intención de la tabla es indicar que la exactitud en relación con el número de muestras en el tiempo, depende en gran medida de la duración de la transmisión de los sistemas en la banda de frecuencia deseada y la frecuencia con la cual se encuentran "al aire". En caso de un usuario PMR (por ejemplo, un taxi) que se encuentra el aire durante 12 segundos cada hora, debe ser monitoreado durante más tiempo para obtener cierta precisión (ya que la estación transmite de forma continua). Normalmente, los valores en la Tabla 3 son suficientes para determinar el nivel de confianza.

Para aplicaciones especiales, por ejemplo, una ocupación muy baja, un tiempo de barrido muy largo, etc., se debe consultar el texto "Sobre la definición y estimación de la ocupación del espectro" ("On the Definition and Estimation of Spectrum Occupancy" por Spaulding/Hagn, 1977 [44]).

El número de muestras presentado en la Tabla 3 se refiere al periodo para el cual se obtendrán los datos con la exactitud correspondiente. Es decir, si el muestreo dependiente (siempre en el mismo intervalo) se realiza para el caso de una ocupación prevista del 20%, se tomarán 4.759 muestras por intervalo. Si los datos son necesarios en la carga de tráfico, el intervalo requerido será de 60 min. Si 4 valores por día (es decir uno cada 6 h) son suficientes en los muestreos a largo plazo, entonces el intervalo será de 6 h. En consecuencia, la velocidad requerida en la medición depende básicamente del intervalo en cuestión. En el ejemplo dado para intervalos de 15 min, se tendrían que tomar muestras por lo menos cada 0.15 s; para intervalos de 60 min cada 0.6 s y para intervalos de 6 h cada 3.5 s.

Desde el punto de vista de la administración de frecuencias, la medición de ocupaciones bajas no es muy crítica. Sin embargo, las ocupaciones de corto plazo pueden ser de interés también, por ejemplo, al tratar de descubrir los usos de la frecuencia en sí. Los estados de "no utilización" y "utilización ocasional" son conceptos distintos.

3.3.3.4.2 Parámetros de sistema

Para determinar la ocupación de tantos canales como sea posible, se debe recopilar y procesar una cantidad enorme de datos. Por ejemplo, un receptor de escaneo se programa de manera tal que se puedan registrar 50 muestras en diversos canales de la radiofrecuencia cada 2 s. Esto significa que el sistema funciona con un tiempo de comprobación de 2 s. El receptor necesita tiempo para ajustarse de manera exacta al canal y generar resultados confiables. En este ejemplo, el periodo de observación por canal o tiempo de permanencia es de alrededor de 5 ms. El periodo de observación por canal depende de la velocidad de escaneo del receptor.

Al programar el sistema de medición se debe tener en cuenta, en caso de que se usen diferentes tipos de receptores, que los ajustes deben ser iguales para obtener resultados comparables.

3.3.3.4.2.1 *Duración de la transmisión*

La duración de las transmisiones de los diferentes tipos de usuarios es diferente. Normalmente, la duración de las ráfagas de datos es menor a la duración de las ráfagas de la conversación. Las diferencias en la densidad de los usuarios en zonas urbanas o rurales tienen una influencia en la duración de la transmisión y las estadísticas de ocupación.

Se debe hacer una distinción entre el tiempo medido durante el cual una emisión está al aire y el tiempo durante el cual una comunicación ocupa el canal. Por ejemplo, en el caso de los canales simplex, el tiempo de conmutación entre las estaciones involucradas forma parte del uso del canal. Los sistemas de registro inteligentes pueden registrar estos tiempos de retraso y agregarlos a los períodos de ocupación reales.

3.3.3.4.2.2 *Relación entre algunos parámetros relevantes*

Hay una relación importante entre el tiempo de la observación, el número de canales, la duración promedio de la transmisión, la exactitud requerida y la duración del monitoreo.

El tiempo de comprobación es directamente proporcional al tiempo de observación y al número de canales.

Tiempo de comprobación = (tiempo de observación por canal) x (número de canales).

Para este tipo de medición, el tiempo de comprobación debe ser mucho más corto que la duración promedio de la transmisión. Para poder mantener un tiempo de comprobación corto con un equipo relativamente lento, se debe reducir el número de canales a medir.

El sistema de monitoreo debe escanear a una velocidad aceptable para detectar transmisiones cortas individuales, con el fin de obtener información confiable y exacta, como se mencionó en la sección 3.3.3.4.1.

3.3.3.4.2.3. *Resolución de las mediciones*

No es conveniente registrar información en bruto, puesto que los volúmenes de los datos son demasiado extensos y difíciles de procesar, por lo que tiene sentido limitar la información a un intervalo especificado durante la medición real.

Dependiendo de la labor que se esté realizando y la longitud de la medición, los intervalos de 1 minuto, correspondientes a 1440 registros por día, pueden constituir un ajuste aceptable entre el registro de todos los datos y una pérdida de compresión demasiado alta. Si tal resolución no es necesaria, o si el tiempo de monitoreo es muy largo (cubriendo va-

rios meses), los intervalos más grandes de 5, 15 o 60 minutos serían adecuados. Sin embargo, la resolución de tiempo del equipo de medición también debe ser mucho más alta en esos casos, para obtener una precisión mayor al crear promedios móviles.

El software de monitoreo debe, por lo tanto, ser capaz de generar los datos de ocupación para las resoluciones seleccionadas de manera libre.

3.3.3.4.3 Consideraciones del sitio

Cuando se selecciona un sitio para las mediciones de la ocupación del canal de frecuencia, se deben tener en cuenta varios factores.

Al igual que en la mayoría de los sitios utilizados para fines de recepción, el equipo de monitoreo se debe colocar en un lugar que esté:

- Alejado de radiotransmisiones fuertes.
- Alejado de estructuras y edificaciones que puedan ocasionar reflexiones.
- Dentro del área de servicio de las estaciones de radio que se busca monitorear. El software de predicción de cobertura puede ser una herramienta útil para determinar el rango de recepción.
- Lejos de las fuentes de ruido eléctrico, como computadores, controladores de velocidad de motores, líneas de alta tensión, etc.

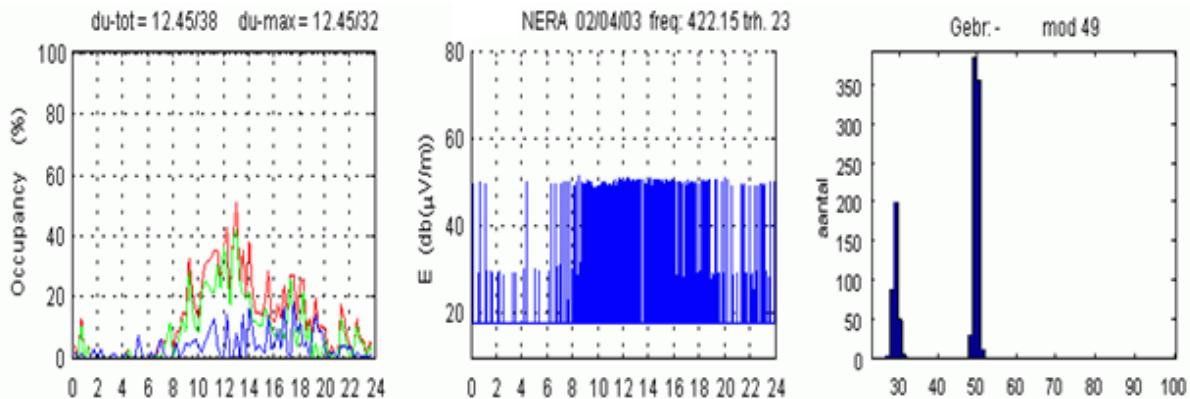
3.3.3.4.4 Limitaciones del monitoreo y posibles soluciones

Aunque se espere obtener resultados exactos sobre la ocupación, es importante considerar las limitaciones asociadas al monitoreo automático de la ocupación y las áreas donde se pueden presentar inexactitudes. El simple monitoreo automático no es capaz de diferenciar entre las señales recibidas por la estación A y la estación B (emisiones deseadas y no deseadas, respectivamente).

El monitoreo automático avanzado puede diferenciar entre señales de diversas estaciones. La ocupación causada por las diversas estaciones que trabajaban en el mismo canal de frecuencia, puede ser representada en un diagrama de ocupación, como se muestra en la siguiente figura:

FIGURA 13

Ejemplo de la determinación de transmisores fijos



Se pueden identificar dos usuarios. La curva verde es el usuario recibido con un nivel de aproximadamente 50 dB μ V/m y la curva azul muestra la ocupación causada por la otra estación (aproximadamente 30 dB μ V/m). La curva roja es la ocupación total (verde + azul).

Para obtener resultados distintos (agujas agudas que representan las estaciones fijas en el diagrama de la derecha, en la Figura 13), es preferible un número bajo de niveles discretos con un gran número de cada ocurrencia.

3.3.3.4.4.1 Señales no deseadas

La mayoría de los sistemas automáticos para el monitoreo de la ocupación utilizan un umbral límite para determinar cuándo una frecuencia está siendo ocupada.

Aunque la intención obvia sea la de registrar la actividad de señales deseadas, el simple monitoreo automático no puede diferenciar entre las emisiones deseadas y no deseadas, ya que ambos tipos de emisión son tratados como ocupación legítima del canal.

Las señales no deseadas podían originarse por:

- Transmisiones no autorizadas.
- Concentración de usuarios en el canal adyacente.
- Emisiones espurias y por fuera de la banda de transmisión.
- Interferencia artificial (por ejemplo, motores eléctricos no suprimidos).
- Propagación realizada debido al clima y condiciones ambientales.
- Usuarios del mismo canal desde localizaciones distantes.

Sin embargo, desde el punto de vista de un usuario, todos los tipos de emisiones constituyen una ocupación y no son críticas para la medición como tal.

En el diseño del sistema se debe evitar cualquier producto de intermodulación del receptor, o identificar estos productos para que sean eliminados por los algoritmos de software. Un producto de intermodulación se toma en cuenta mediante la inserción fija y automática de atenuación conocida para la RF en escaneos alternos y luego quitando automáticamente todas las señales registradas que son atenuadas por un mayor valor. Sin embargo, esta técnica de medición reduce el tiempo de registro a la mitad y no es del todo confiable, puesto que asume que las emisiones no cambian entre los dos barridos.

3.3.3.4.4.2 Ocupación total

Aunque el sistema de monitoreo no sufra ninguno de los problemas mencionados anteriormente y solo reciba señales legítimas, los resultados de ocupación deben ser tratados con un cierto grado de precaución.

Si más de un usuario está activo en una frecuencia dentro del área de cobertura del sistema de monitoreo, la ocupación registrada será una combinación del tráfico de radio de cada usuario.

Es posible que una unidad móvil deseada (móvil A) esté localizada significativamente más lejos del sitio de monitoreo, que de la ubicación de la propia base del usuario (base A). Por lo tanto, la intensidad de la señal recibida puede ser menor que el valor de umbral fijado para el monitoreo, pero lo suficientemente fuerte en la base de destino como para ser útil. Por el contrario, una unidad móvil (el móvil B) por fuera del área de servicio de la estación base principal puede ser recibida en el sitio del monitoreo, pero no ser escuchada en dicha estación base principal.

Estos dos ejemplos pueden llevar a interpretaciones incorrectas de los resultados de ocupación. Estos posibles errores necesitan ser evaluados y documentados en un informe de medición. La selección del lugar de medición y la calidad de la cadena de recepción tienen un impacto significativo en el resultado de la medición.

3.3.3.4.5 Configuración del umbral

Es diferente configurar un umbral fijo y uno dinámico. Un umbral fijo se puede definir como la intensidad de campo mínima necesaria para la cobertura de radio. De este modo se emularía la situación de una estación de radio en la red de radio monitoreada. En el caso que se utilice un valor de un umbral fijo, se pueden comparar los resultados de las mediciones más recientes con los de las mediciones anteriores. En caso de que se utilice un nivel dinámico (cambiante), no es posible comparar los resultados.

El umbral también puede ser definido si se conocen los niveles en el lugar de medición. Para determinar el umbral, un margen de 8-12 dB puede ser añadido al ruido. El valor real que se debe agregar al nivel de ruido depende de “lo que se espere ver”. Si se necesita conocer todas las señales dentro del área de la cobertura del receptor, entonces no se debe sumar más de 3 dBm, máximo 5 dBm al nivel de ruido calculado. En el caso de un nivel de umbral fijo, se debe determinar el nivel de ruido de todos los lugares remotos (receptores) y almacenarlos en una base de datos simple. Los valores en esta base de datos deben ser utilizados al procesar los datos.

Será evidente que el nivel del ruido de fondo para procesar los resultados en la banda FM/BC 88 MHz -108 MHz (Región 2 UIT) será diferente a la banda de frecuencia 118 MHz -133 MHz del servicio aeronáutico.

En los casos en los que las mediciones se realicen con un analizador de espectro o un receptor, la dinámica del silenciador se puede calcular por medio de varios algoritmos. Se puede derivar de la manera más fácil desde la distribución de frecuencia de las muestras a través de un barrido. Un margen fijo de 5-10 dB es agregado al nivel, el cual es representado por el mayor número de valores de nivel discreto. Así se constituye el umbral para la detección de la ocupación de este barrido en particular (ver Figura 14).

De esta manera se calcula un nuevo umbral para cada barrido. Este método ofrece una gran ventaja en los ciclos de medición más largos. Los cambios en el nivel de ruido o ancho de banda en las señales no deseadas, no adulteran la medición de ocupación ni la hacen inutilizable. Sin embargo, se debe tener cuidado al asegurarse de que los espectros registrados contengan un número adecuado de muestras que repliquen el ruido de manera exacta. El piso del ruido cambiará levemente con el tiempo en VHF/UHF/SHF. Sin embargo, el cambio permanece en condiciones normales no mayores a algunos pocos dB, y dado que un número de dB (de 3 a 5 dB) es añadido al ruido, no se generará ninguna influencia. Esto demuestra que no siempre es necesario calcular un nuevo umbral para cada barrido. En caso de que el piso de ruido esté cambiando más de 5 dB, se presentarían condiciones excepcionales de propagación y podrían dañar los resultados convirtiéndose en no confiables.

FIGURA 14
Determinación del silenciador dinámico

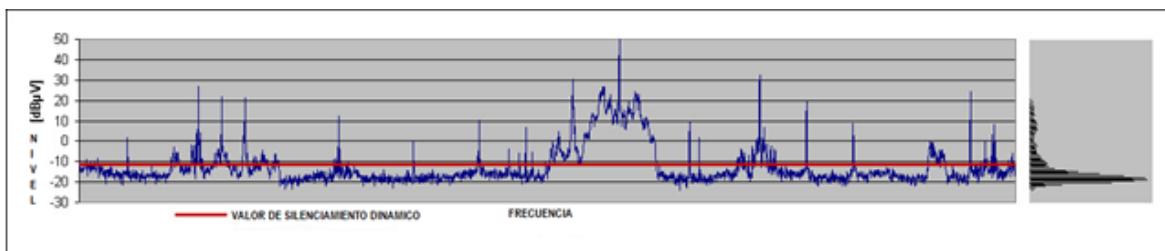
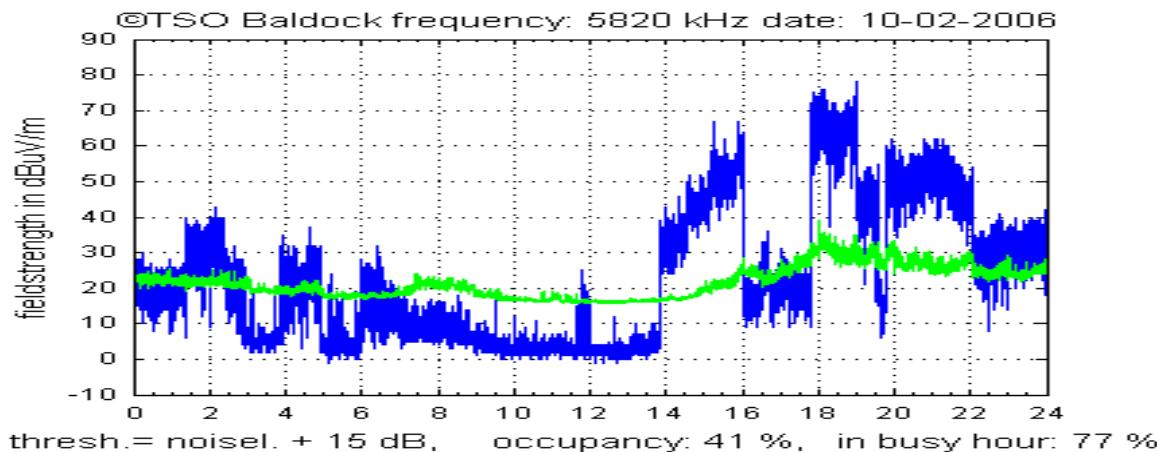


FIGURA 15

Variación de ruido-HF durante un día



Para las bandas HF la situación es totalmente diferente. El nivel de ruido está cambiando durante el día y la temporada, presentando diferencias considerables en 24 horas. En ese caso se debe calcular un umbral dinámico vs. tiempo y se debe agregar más dB al nivel de ruido para determinar el umbral. En la Figura 15 se han agregado 15 dB.

Un cambio posterior del valor de umbral no es conveniente puesto que este requeriría el registro de información sin procesar.

Asumiendo una medición de 24 horas con un tiempo de barrido de 500 ms y 1000 pasos, daría lugar a un volumen de datos de alrededor de 700 MB (1000 puntos de datos de 4 bytes cada uno = 4 kB por barrido del espectro o escaneo del espectro, 172.800 espectros en 24 horas * 4 kB = aproximadamente 700 MB).

Dependiendo de la duración de la transmisión de las señales esperadas en la banda de frecuencia medida, no siempre es necesario utilizar un tiempo de barrido de 500 ms. Por ejemplo, las bandas de frecuencia de radiodifusión se pueden medir con un tiempo de barrido de 10 segundos (tamaño del archivo de alrededor de 35 MB). Sin embargo, aún en el caso de 500 ms, un archivo de datos de MB 700 se reduciría a aproximadamente 230 MB una vez comprimido.

Un disco duro externo de 1 Tb es muy fácil de obtener y puede almacenar más de 4000 archivos comprimidos, cada uno conteniendo 24 horas de medición con 500 ms.

Aunque hubiera suficiente espacio de almacenamiento en el disco duro, guardar tal cantidad de información sería problemático y dificultaría la evaluación de la información. Una reducción de datos durante la recolección de información tiene sentido por varias razones, pero también implica que los parámetros que se fijarán deben conocerse antes de realizar la medición.

3.3.3.5 MEDICIONES EN LAS BANDAS DE FRECUENCIA

En principio, se puede decir que es lo mismo realizar mediciones de la ocupación del espectro por debajo y por encima de 30 MHz. La misma metodología que se describió en la Recomendación UIT-R SM.1809 se puede utilizar para todo el espectro radioeléctrico. En frecuencias por debajo de 30 MHz, normalmente no se utiliza ninguna medida de ocupación del canal de frecuencia (una excepción es la ocupación de canal en los canales de radiodifusión en ondas decamétricas HF, durante campañas europeas de monitoreo en la preparación para la World Radiocommunications Conference 2007 (WRC 2007, por sus siglas en inglés).

Para la ocupación de canal de frecuencia por encima de 30 MHz, normalmente se aplica el método de medición descrito en la Recomendación UIT-R SM.1536 [42] o las mediciones de banda de frecuencia descritas en la Recomendación UIT-R SM.1809, en combinación con el método de procesamiento establecido en la Recomendación UIT-R SM.1793 [43].

Este último método da la posibilidad de discriminar entre más de un usuario en el mismo canal.

3.3.3.5.1 Frecuencias por debajo de 30 MHz

Para el monitoreo manual de ocupación por debajo de 30 MHz, la unidad de análisis debe dar un juicio prudente de los filtros de análisis de ancho de banda entre 100 Hz y 10 kHz. La medición de la frecuencia (con una exactitud de hasta 1 Hz) asiste en el proceso de medida de la ocupación, ya que ayuda particularmente a identificar señales.

Como regla general, debería ser posible adaptar el equipo de medición de tal manera que sea capaz de registrar las emisiones correctamente. Con el fin de aumentar la sensibilidad para determinar la ocupación, es posible, también, realizar la medición en una banda más estrecha.

El periodo de medición y el número asociado de muestras/intervalos dependen de la tarea que se esté llevando a cabo. Puede que sea suficiente con medir solamente un periodo corto de tiempo (por ejemplo, un día) pero con una resolución mayor (por ejemplo, identificar la hora de tráfico pico), o en el caso de mediciones a largo plazo, durante semanas o meses, medir con el mismo número de muestras de medición en intervalos más largos.

Las mediciones de la ocupación se pueden realizar en canales o frecuencias. Estas últimas solo tienen sentido si se utiliza un analizador de espectro. Si la ocupación de un solo canal/una sola frecuencia no es de interés para la tarea en cuestión, se deben preferir las mediciones relacionadas con la banda. En principio, las ocupaciones individuales se suman en estas mediciones y, por lo tanto, la información que se obtiene se refiere a la banda de frecuencia o canales observados. La pérdida de la individualidad en los diferentes canales/frecuencias resulta en hallazgos con una variación menor.

3.3.3.5.2 Frecuencias por encima de 30 MHz

Las mediciones de ocupación del espectro por encima de 30 MHz también pueden servir de apoyo para muchas de las tareas de administración de frecuencias y de aplicación de la normatividad. Las mediciones sirven para:

- Registro de la ocupación del canal.
- Registro de la banda de frecuencia.
- Análisis de tráfico.
- Mostrar que una banda de frecuencia está disponible para un nuevo uso después de la reordenación.
- Identificación del uso ilegal de la frecuencia.
- Prevención de la interferencia.
- Análisis a largo plazo.
- Análisis de las redes celulares con la asignación dinámica de canales (determinación del comportamiento de una celda como un todo).

3.3.3.5.2.1 *Mediciones de la ocupación del canal de frecuencia (FCO)*

En la mayoría de los países, las bandas de frecuencia por encima de 30 MHz se planean de acuerdo con sistemas ya conocidos como, por ejemplo, la estructura en forma de panal. Los canales de radio se asignan a los usuarios de acuerdo con la disponibilidad. La información sobre los usuarios con licencia, recuperada de las bases de datos de la administración de frecuencias, solo indica que el uso de la frecuencia está autorizado. El número de asignaciones en una frecuencia no siempre arroja información adecuada sobre el uso real de esa frecuencia en particular.

Por lo tanto, en áreas congestionadas es necesario que las asignaciones de frecuencia estén basadas en datos más realistas. Las mediciones de la densidad de tráfico en los canales de radiofrecuencia darán lugar a valores más exactos sobre la ocupación de estos canales. La repetición de estas mediciones en intervalos regulares permite a los administradores de frecuencias establecer tendencias con base en datos históricos.

3.3.3.5.2.2 *Servicios*

Los servicios privados de telefonía móvil se han basado tradicionalmente en voz análoga. Sin embargo, la transmisión de datos se ha introducido ya sea como una posibilidad de expansión, o como un medio principal de comunicación. Cuando los usuarios desean incorporar el intercambio de mensajes de datos a sus redes móviles existentes, los datos aparecen en los canales de radio compartidos. En ese caso, la autoridad reguladora deberá conocer las características del canal de radio para determinar cómo funcionará el sistema de

comunicación de datos. Algunos usuarios pueden tener requerimientos que solo se pueden cumplir mediante la asignación de canales de radio más apropiados.

En general, los nuevos servicios también tendrán un impacto en la ocupación de cada estación, en términos de cada estación móvil. Generalmente, esto aumenta el volumen de tráfico total en un canal de radio. Ya que lo anterior no se presenta en un sistema administrativo que solo registra el número de estaciones móviles, es necesario tener en cuenta detalles adicionales.

3.3.3.5.2.3 *Información adicional sobre ciertos usuarios*

Además de determinar la intensidad de la señal por encima del umbral en términos de SÍ o NO, hay muchos más parámetros que se pueden almacenar, tales como el nivel de la señal, el tipo de modulación o información para propósitos de identificación (por ejemplo, llamadas selectivas).

Aparte del simple registro de la ocupación, es útil registrar los valores máximos, medios y mínimos en cada intervalo. Esto no solo proporciona datos de ocupación sino que también permite profundizar en el análisis de las actividades en la frecuencia, ya que, por ejemplo, se pueden reconocer emisiones comunes de corto plazo que de otro modo estarían ocultas en el proceso de promediación.

El comportamiento registrado en el tiempo también permite extraer la información sobre el tipo de uso.

3.3.3.5.2.4 *Escaneo lento del canal*

Este método es muy similar a las mediciones de ocupación de frecuencia descritas anteriormente, salvo que las frecuencias se escanean a una velocidad más lenta, quizás solamente 2 frecuencias por segundo. Este método se puede utilizar cuando la identidad del usuario se transmite a través de la longitud entera de la transmisión del mismo y puede, por lo tanto, obtenerse a través del muestreo en cualquier momento.

Esto es posible con los siguientes sistemas:

- Sistema de señalización controlado por tono continuo (CTCSS).
- Silenciador codificado digitalmente (DCS).

Si se requiere enunciar más detalladamente los usos de frecuencia, es necesario registrar y evaluar datos de protocolo adicionales.

En sistemas de radio digital que están transmitiendo continuamente, por ejemplo, TETRA, GSM, el registro del protocolo contenido en un canal de control constituye el único medio para obtener información del nivel de ocupación.

3.3.3.5.2.5 Monitoreo del canal estático

Esto permite la recolección de información acerca de la duración de la transmisión y también puede utilizarse en sistemas en los que el usuario final solo envía su identificación una sola vez por transmisión. No es posible emplear técnicas de escaneo porque el receptor debe permanecer en una sola frecuencia para no perder ninguna información (ver Figura 16).

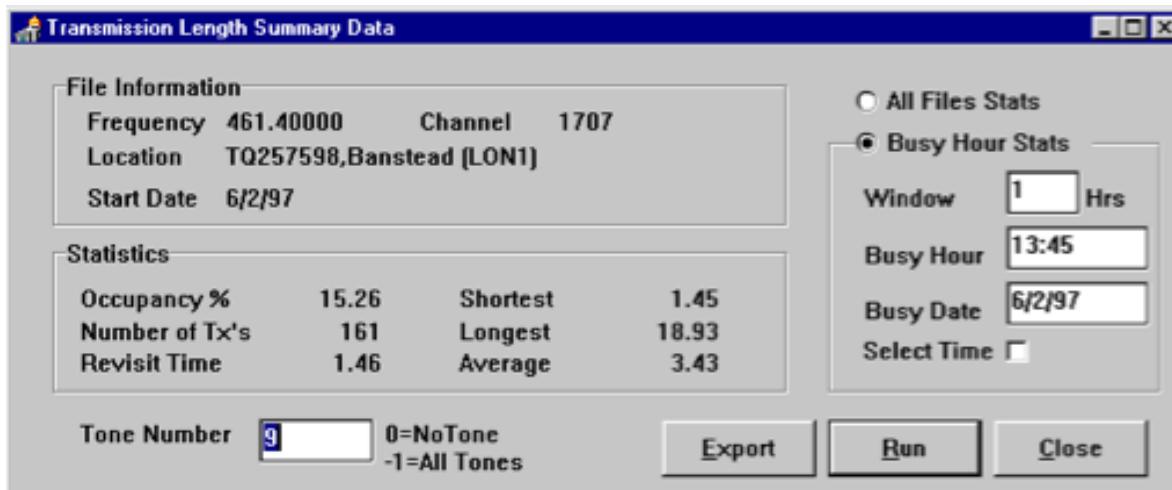
Esto es aplicable para los siguientes tipos de sistema:

- Llamada selectiva por secuencia de 5 tonos (SELCAL).
- Sistema de identificación automática del transmisor (ATIS).
- Canal de control modo troncalizado MPT 1327.
- Sistemas de *paging* con dispositivos de protocolo POCSAG.

Si se obtiene información adicional sobre usuarios individuales es posible subdividir la ocupación total para esa frecuencia en valores específicos de ocupación por cada usuario.

En el caso de aplicaciones que controlan el flujo de tráfico en canales de control, por ejemplo, en radio troncalizada, o que se pueden reducir a un solo canal (por ejemplo, DSC, POCSAG), es posible obtener un análisis de tráfico muy preciso a partir de los datos de protocolo registrados.

FIGURA 16
Ejemplo de monitoreo de canal estático



3.3.3.5.2.6 *Mediciones de ocupación de la banda de frecuencia (FBO)*

Generalmente, la siguiente aproximación es válida:

El monitoreo automático comienza con las mediciones de ocupación de la banda de frecuencia. No hay umbral necesario para un número de diagramas (por ejemplo, espectrograma, cascada, mín/máx/med, etc.). Solamente se necesita un nivel de umbral para calcular la ocupación de la banda de frecuencia.

Por lo tanto, se debe comenzar con la FBO (Recomendación UIT-R SM.1809 [7]), pero si se requiere una información más detallada por canal se deben llevar a cabo las mediciones de la FCO, o incluso un mejor proceso sería la aplicación de la Recomendación UIT-R SM.1809 [7], cuyo resultado obtenido para FCO se describe en la Recomendación UIT-R SM.1793 [43].

La configuración de los equipos receptores depende de la banda de frecuencias que se debe escanear. El tiempo de escaneo depende de la cantidad de datos deseados. El ajuste del nivel de umbral debe ser lo más bajo posible, pero evitando la grabación del ruido. Resulta muy útil poder cambiar el nivel de umbral después, para lograr diferentes tipos de evaluación. El nivel de la señal se registra en cada barrido, por ejemplo, en 900 barridos durante 15 minutos a un barrido por segundo. Las frecuencias en niveles por encima del umbral seleccionado se consideran ocupadas. El uso de software especializado permite, además, ampliar la banda de frecuencia escaneada en tiempo y frecuencia.

Los receptores de monitoreo con filtros IF muy selectivos, con un factor de forma de 2:1 o mejor, son preferibles a los analizadores de espectro para las mediciones de la ocupación del espectro. Sin embargo, los analizadores de espectro son mejores en los casos en los que se requiere de una mayor velocidad, ya que están normalmente equipados con filtros IF Gausianos para evitar fluctuaciones. Aunque este tipo de filtros no diferencian adecuadamente las señales en canales adyacentes, sí son los mejores en términos de velocidad y resolución. Como resultado, los analizadores de espectro tienden a sobreestimar la ocupación real. Al usar receptores de monitoreo, el ancho de banda de sus filtros IF debe emparejarse al ancho de banda de las bandas canalizadas. Por lo tanto, se necesita un conjunto de filtros IF que coincidan con el ancho de los canales de las bandas a monitorear. Se recomienda que, preferiblemente, el equipo receptor tenga valores de ruido bajos.

Además, son deseables los filtros sintonizables de preselección y los amplificadores de bajo ruido que se pueden integrar a la preselección después del filtro. Los filtros especiales pasa banda se pueden requerir para ayudar a mejorar el rango dinámico del sistema de medición para algunas situaciones de monitoreo, cuando se usa un receptor o un analizador de espectro. Por ejemplo, tales filtros pueden ser necesarios para obtener datos válidos sobre la ocupación en los canales que contienen señales relativamente pequeñas (de nivel bajo), en bandas adyacentes a bandas que contienen señales relativamente grandes (por ejemplo, bandas de radiodifusión). Por último, es posible que se necesite usar un preatenuador delante de un monitor o preamplificador analizador de espectro, con el fin de posi-

cionar correctamente el rango dinámico del sistema de monitoreo cuando se monitorean bandas con señales grandes.

Durante cada barrido de este tipo de medición de espectro, que se realiza desde todos los puntos de medición (por ejemplo, 1000 puntos), se almacena la intensidad de señal recibida. Estos pasos se pueden considerar como 1000 canales individuales. Los datos se pueden procesar desde cualquier canal. Los diagramas de distribución de los valores medidos para obtener una buena indicación del número de estaciones base, de la intensidad de la señal recibida en el tiempo (más que todo en 24 horas), de la información acerca de la duración promedio del discurso, etc., se pueden obtener con bastante facilidad.

Dado que el tamaño de la resolución del ancho de banda (RBW) del filtro es normalmente mayor que el tamaño de los pasos, no se pueden utilizar todos los “canales”. Por ejemplo, la banda que se examinará es de 7.5 MHz. También como ejemplo, esto se hace en 1000 pasos, así que el tamaño del paso es de $7\ 500/1000 = 7.50$ kHz. El RBW del filtro puede ser 10 kHz. Se puede procesar la información a partir de cada tercer paso, obteniendo así la información de la ocupación cada 25 kHz, lo cual podría ser el espaciamiento entre canales existentes en la banda medida. En caso de que se utilice un paso de frecuencia de 12.5 kHz, el proceso se puede llevar a cabo cada dos pasos. Otra solución al problema podría ser cambiar de tamaño del filtro (si es posible) a 10 kHz. Esto solo puede ser aplicado para la FCO, porque en cada paso se omite una pequeña parte del espectro (es decir, no se mide). Para cada canal se observa -5 y +5 kHz. La ocupación no será diferente si se mide con un filtro de 15 kHz (ver la sección 3.3.3.5.2.3).

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el tiempo de barrido, comparable con el tiempo de comprobación de las medidas de ocupación del canal de frecuencia, en este caso es de unos 10 s (y no puede reducirse infinitamente). Es importante señalar que numerosas pruebas han demostrado que la precisión no cambiará drásticamente en caso que el tiempo de comprobación aumente de 1 a 10 segundos (ver la sección 3.3.3.2).

3.3.3.6 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS RECOPILADOS

Cuando se han recopilado los datos de la ocupación, se deben analizar los resultados y presentarlos en un formato útil. Los datos deben ser convertidos en información y posteriormente en conocimiento. Es posible que el sistema de monitoreo ya tenga funciones de presentación y análisis integradas en el software suministrado. Independientemente de si esas funciones se incluyen dentro del programa de recolección de medidas, o si se suministra como una aplicación por separado, los procesos son similares.

El proceso completo se describe en tres pasos:

- Mediciones y recopilación de datos.
- Procesamiento y conversión de datos en información (diagramas, gráficos, etc.).
- Presentación del resultado para informes o publicación en páginas web, etc.

De la recopilación de información sin procesar es posible generar las siguientes opciones de presentación:

- Tablas
- Gráficos textuales
- Gráficos
- Mapas

Algunos ejemplos de mediciones de la banda de frecuencia se presentan a continuación:

FIGURA 17

Espectrograma

Shenzhen, spectrogram, date : 28-08-2007

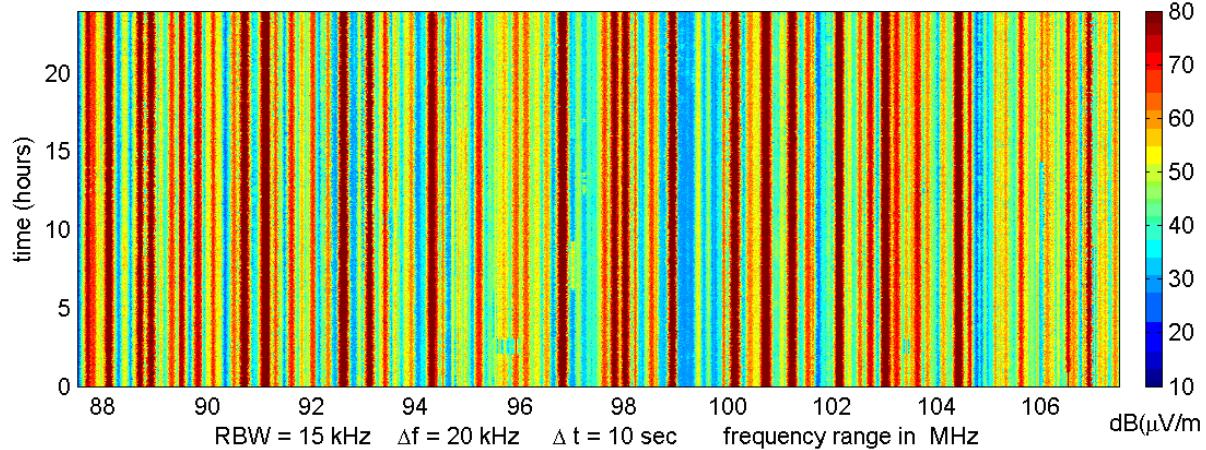


FIGURA 18

Curvas mínimas, máximas y medias

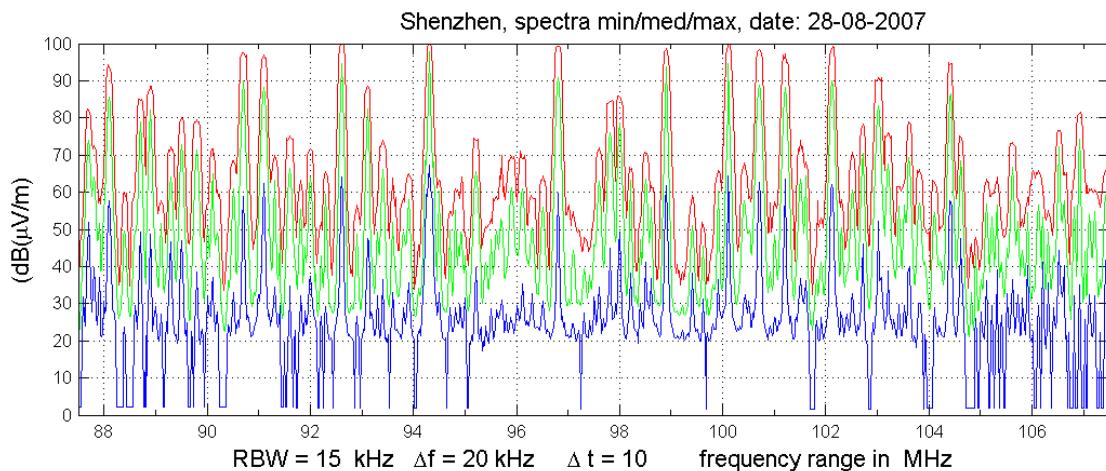
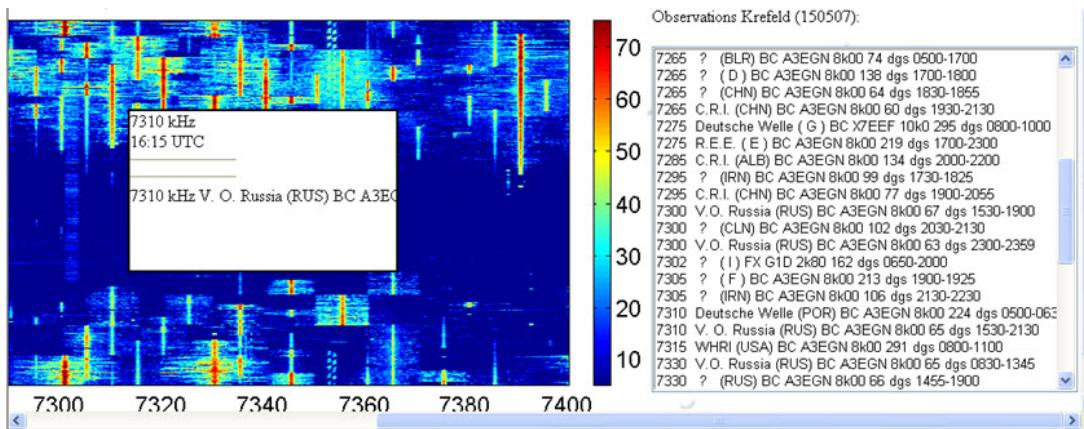


FIGURA 19

Imagen de mediciones de HF combinada con resultados de monitoreo manual

(de la misma base de datos de mediciones que el espectrograma anterior)

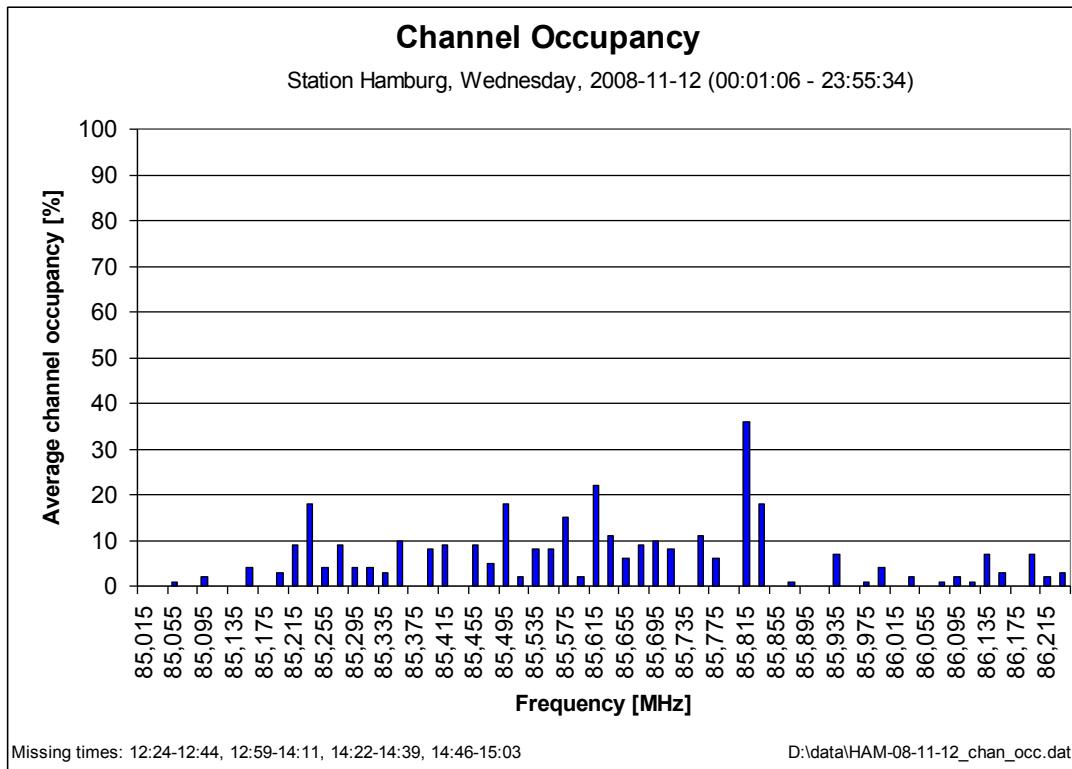


La presentación, en el caso de las mediciones de ocupación del canal de frecuencia, debe contener, como mínimo, la siguiente información:

- Localización del monitoreo.
- Fecha y periodo de medición.
- Frecuencia.
- Tipo de usuario (s).
- Ocupación en hora pico.

FIGURA 20

*Ejemplo de una medición de
ocupación del canal*



Una visión general de la ocupación del canal puede ser suficiente para apoyar las decisiones de un regulador. Dicha visión se obtiene a partir de los datos de ocupación, con la ayuda de un programa de hoja de cálculo (Open Office, Excel). Con dos botones para los límites, la evaluación siempre se puede adaptar a condiciones actuales.

Título V — Monitoreo del espectro radioeléctrico

FIGURA 21

Ejemplo de una vista rápida de mediciones de ocupación del canal

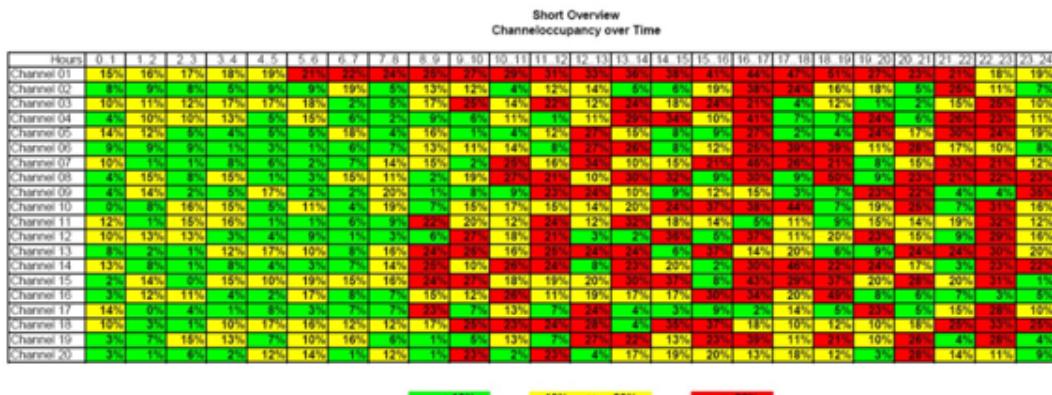
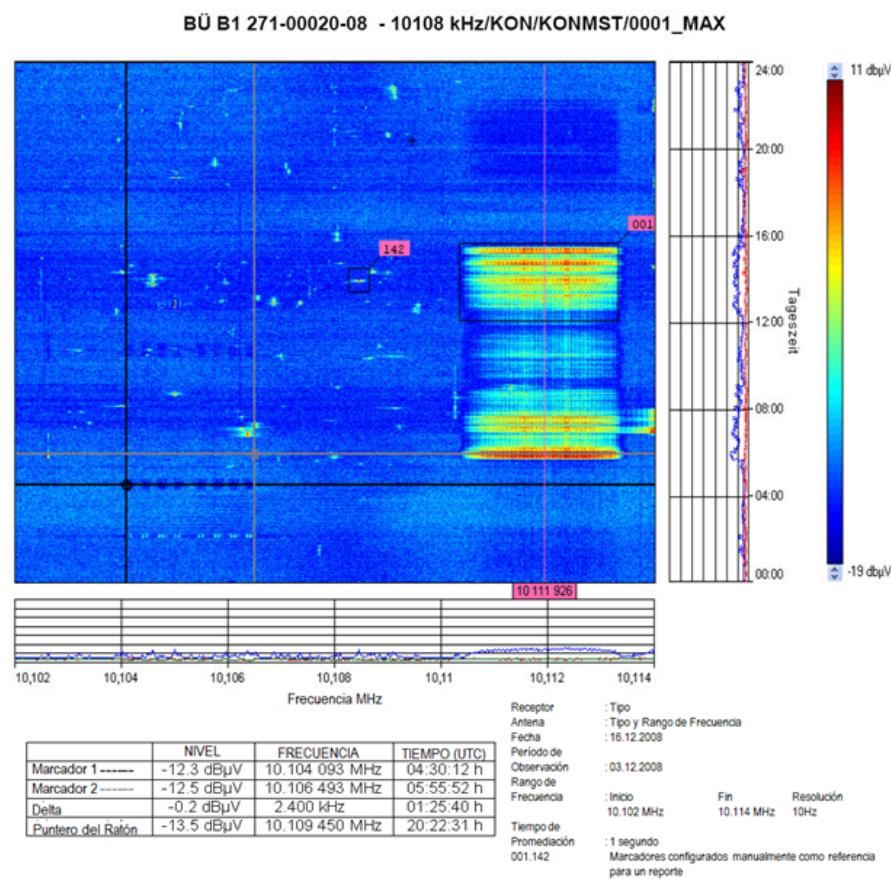


FIGURA 22

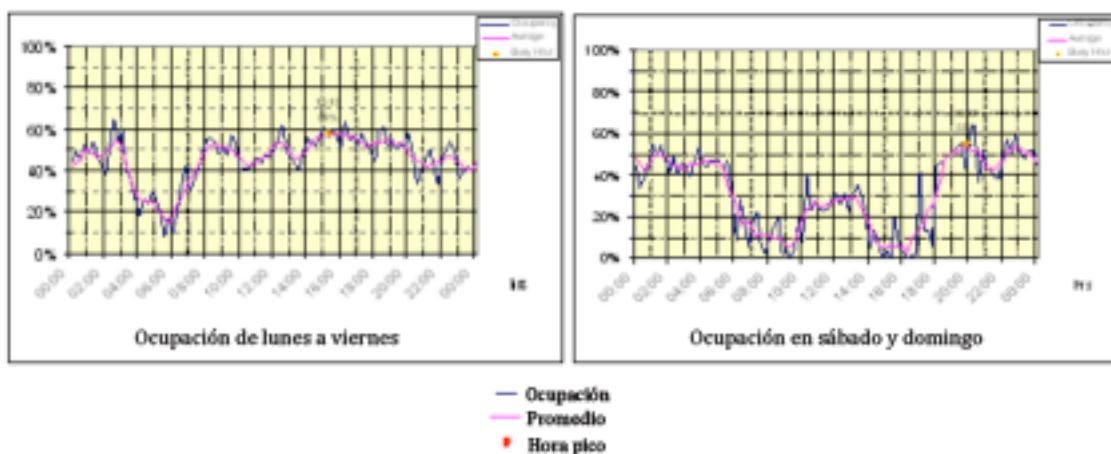
Ejemplo de una medición de banda de frecuencia



El siguiente ejemplo de presentación muestra el procesamiento de la información de un sistema que solo indica que una señal observada estaba por encima del umbral preestablecido.

El receptor puede monitorear un grupo de 50 canales en forma continua durante las mediciones en 14 días consecutivos. Los datos recogidos se pueden dividir en dos grupos. Un grupo que contiene los datos de los días hábiles y otro con los datos del fin de semana.

FIGURA 23
Informe de ocupación en un solo canal



Las muestras de 15 minutos se promedian dando como resultado 96 muestras por día.

El valor de la ocupación de cada 15 minutos se utiliza para formar el promedio de deslizamiento de una hora. Es decir, cuatro piezas de muestras de 15 minutos se promedian 96 veces al día para construir un valor promedio para una hora.

Todos los valores están trazados en un gráfico, mostrando los valores máximo y promedio de ocupación en días laborables, y un gráfico del mismo tipo para representar la ocupación durante el fin de semana.

El momento en la línea del valor promedio, en el cual la ocupación es más alta, se denomina hora pico. Para los problemas de interferencia es preferible una representación diaria (gráfico), así como un resumen de la ocupación.

Estos gráficos de representación diaria pueden ayudar a resolver los problemas de interferencia. Muestran la diferencia en la ocupación en un canal específico típico de un taxi. El costado izquierdo de la Figura 23 muestra el gráfico para los días entre lunes y viernes y el costado derecho muestra la ocupación de los sábados y domingos. La línea superior en el gráfico representa la ocupación máxima, y la segunda, la ocupación promedio. El eje X es el tiempo y el eje Y es el porcentaje de ocupación. El periodo de medición es de 14 días. La

frecuencia del muestreo es de 0.54 Hz. En la Figura 23, la hora pico se marca como puntos rojos, a las 15.15 h (diagrama de la izquierda) y a las 20.45 h (diagrama de la derecha).

3.3.3.7 INTERCAMBIO DE DATOS

Las administraciones vecinas pueden estar interesadas en compartir datos de ocupación, especialmente cuando se trata de regiones cercanas a las fronteras de los países, con el fin de brindar asistencia en la asignación de frecuencias. En estos casos es importante utilizar una técnica única y un formato que no sea ambiguo, que permitan la interpretación correcta de la información enviada entre las partes.

Como ejemplo de lo anterior, la Recomendación CEPT/ECC (05) 01 [6] "Armonización de métodos de medición automáticos y transferencia de datos para registros de bandas de frecuencias" recomienda utilizar el formato de valores separados por comas (CSV, por sus siglas en inglés), para este propósito. La mayoría de los programas de bases de datos y hojas de cálculo pueden leer este formato.

Dentro de una sección específica, bajo un encabezado, se describe la ubicación desde la cual se llevan a cabo las mediciones, el rango de frecuencia y otros parámetros técnicos. La sección con su respectivo encabezado es separada de los datos reales mediante una línea en blanco. Cada línea en blanco (escaneo) de la sección inicia con el tiempo, seguido del valor del nivel (o intensidad de campo) para cada paso de frecuencia, por ejemplo, 1000. Si el tiempo del escaneo o de barrido es de 10 segundos, el archivo contiene > 8630 líneas.

Tipo de archivo	Bandscan
Nombre de la ubicación	Shenzhen
Latitud	2W23.00
Longitud	5N35.00
Inicio de frecuencia	87500
Fin de frecuencia	107500
Tipo de antena	HK-014
Ancho de banda del filtro	15
Unidades del nivel	dBuV/m
Fecha	2007-08-30
Puntos	1001
Tiempo de escaneo	10.0
Promedio del detector	
Notas	

00:01:40,19.2,3,19.1,44.5,34,39.9,43.9,63.5,65,66.2,75.1,74.6,63.6,etc
00:01:50,21.5,22,21.8,34.7,32.8,46.5,43.2,62.9,62.4,75.9,76.4,67.4,etc
00:02:00,27.7,22.8,23.2,41.7,35.1,36.4,53.5,51.4,61.6,64.8,64.3,64.5,etc
00:02:10,2.3,19.2,22.1,41.4,33.1,36.4,53.8,47.6,66.4,66.2,76.4,64.1,etc
00:02:20,22.5,20.8,32,32.7,37.8,47.2,49.3,61.1,71,75.1,73.4,73.9,59.2,etc
00:02:30,22.3,22.1,26.6,30.3,39.2,41.9,51.2,44,61.2,67.7,64.8,77.5,59,etc
00:02:40,22.8,28.3,19.3,30.6,40.1,45.4,47.8,52.5,66.7,70.4,74.8,66.5,etc
00:02:50,20.9,20.6,28,29.3,43.4,43.8,47.1,63,64.5,74,72.5,65.4,62.6,etc
00:03:00,22,23.4,23.5,24.3,37.2,46.2,42.3,59.4,65.7,64,73.4,78,62.9,etc
00:03:10,20.8,20.3,2.3,32.7,34.7,45.8,51.7,45.4,63.2,78.1,65.9,62,etc

.....

.....

.....

23:58:50,20.7,20.6,28.9,31.9,38.1,42.8,51,53.5,48.1,81.7,66.5,79.6,etc
23:59:00,23.4,2.3,35.2,24.6,43.4,43.2,49.8,48.8,59.7,72.6,73.2,73.1,etc
23:59:10,22,24.3,2.3,27.1,37.7,43.8,33.6,51.7,58,66.4,78.4,64.3,51.6,etc
23:59:20,21.8,2.3,22.2,30.2,48.3,34.8,57.9,58.5,71.7,73.2,66.8,72.9,etc
23:59:30,20.7,20.9,32,33.3,41.2,46.5,41.7,37.9,72.2,66.9,74.6,61.8,etc
23:59:40,2.3,22.1,20.5,43.2,34.1,42.2,42.2,53.4,58,71.1,78.3,74.9,etc
23:59:50,2.3,20.5,20.2,33,40.5,40.6,51.9,55.2,66.5,50.4,65.3,72.6,etc

Otra posibilidad para intercambiar o incluso publicar datos es utilizar la marca de hipertexto (HTML).

3.3.4 Modulación/Desviación

3.3.4.1 INTRODUCCIÓN

Esta sección se concentra únicamente en la medición de diversos parámetros de modulación, la identificación de la modulación y los métodos de análisis.

3.3.4.2 MODULACIÓN ANÁLOGA

3.3.4.2.1 Modulación de amplitud (AM)

3.3.4.2.1.1 Procedimiento de medición y equipo

El parámetro clave para realizar mediciones de modulación de amplitud en analógico es la profundidad de modulación

$$m (\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}} \times 100 \quad (5)$$

para un funcionamiento normal entre 0 a 100% y puede ser leída directamente de los receptores de medición estándar.

Un estado crítico ocurre cuando el portador se encuentra sobre-modulado y $m > 100\%$. Esto ocurre si $E_{min} < 0$. Sin embargo, esto no lo indica un receptor de medición. En cambio, se puede definir la profundidad de modulación mediante

$$m \pm (\%) = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E_c} \times 100 \quad (6)$$

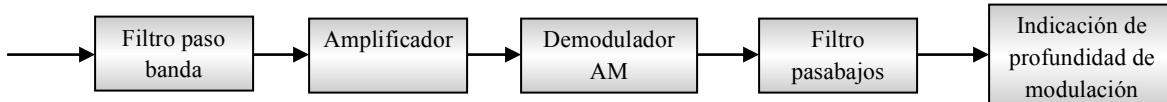
donde E_c es el nivel promedio que se puede utilizar. E_{max} , E_{min} y E_c se pueden medir, por ejemplo, con receptores de medición y analizadores de espectro. Si $(m+) = (m) = (m\pm)$, la modulación se puede considerar como simétrica (es decir, el valor de la amplitud de la portadora ($=E_c$) no cambia con la modulación), el porcentaje de modulación es $< 100\%$ y no ocurre sobre-modulación alguna.

Una investigación más exhaustiva de los parámetros de modulación es posible con instrumentos especiales, llamados medidores de modulación o analizadores de modulación (si están equipados con circuitos especiales que permiten un análisis más detallado de la señal demodulada, por ejemplo, la distorsión y la relación señal-ruido). Por lo general, los medidores de modulación también indican el valor de la frecuencia portadora, lo cual se puede lograr mediante instrumentos con tecnología de punta, sin esfuerzo adicional.

Un diagrama de bloques general de un medidor de modulación se muestra en la Figura 24. Sin embargo, por tratarse de la versión más sencilla de un medidor de modulación, acepta solo las frecuencias que pasan por el filtro de entrada. En la práctica, este tipo de analizadores de modulación solo se pueden utilizar conectados a las salidas IF de un receptor que proporcione la selección necesaria.

FIGURA 24

Diagrama general en bloques de un analizador de modulación



Para un uso más general de un medidor de modulación, la entrada es equipada con un conversor de entrada: un mezclador que es alimentado por un oscilador local apropiado, convierte la frecuencia de entrada en una frecuencia intermedia, de acuerdo con el principio superheterodino. Esta frecuencia intermedia es entonces demodulada y analizada. La medición del ancho de banda del filtro pasa banda tiene que ser, por lo menos, igual en ancho al ancho máximo de la señal a medir.

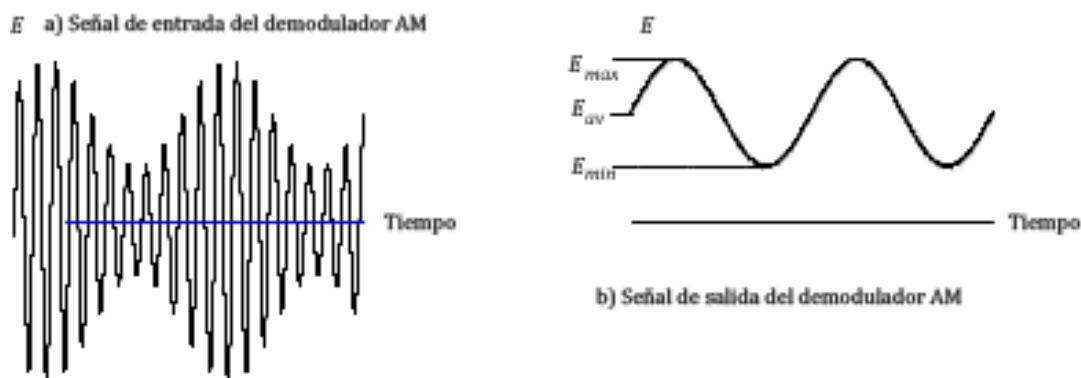
La salida del demodulador AM es, por ejemplo, el voltaje positivo de la envolvente de la onda modulada, como se muestra en la Figura 25. Donde a) representa la entrada y b) representa la señal de salida del demodulador.

El circuito de indicación calcula ahora la profundidad de modulación y en forma correspondiente el instrumento indica m^+ , m , o $m\pm$. La comparación de estos valores muestra si la modulación es asimétrica o si ocurre sobremodulación ($m^+ > 1$).

A veces, solo se requieren los valores instantáneos de la profundidad de modulación que corresponden a picos de modulación para verificar que no haya sobremodulación. En este caso, un osciloscopio conectado a la salida de frecuencia intermedia de un receptor puede ser suficiente para un chequeo rápido. Un analizador de espectro con un lapso de cero (dominio de tiempo) o un analizador vectorial de señal pueden también ser utilizados.

FIGURA 25

Señales de entrada y salida del demodulador de AM



Por otra parte, puede ser interesante conocer la profundidad de modulación media durante intervalos de tiempo, para asegurarse de que el transmisor se utiliza correctamente. Por otra parte, en algunos casos, la calidad de modulación puede ser de interés, como, por ejemplo, la tasa señal-ruido o los contenidos de distorsión. En todos estos casos es necesario utilizar un analizador de modulación, que también contiene un medidor para indicar con precisión la profundidad de la modulación. Dicho instrumento presenta los resultados en cualquier forma deseada, por ejemplo, en el panel frontal, en la pantalla de un PC o mediante una gráfica, ya sea impresa o ploteada.

3.3.4.2.1.2. *Errores de medición*

Las posibles fuentes de error en las mediciones son:

- Instrumentos con un ancho de banda más estrecho que el de la señal modulada.
- Ruido o señales interferentes en co-canal.
- Señales interferentes en los canales adyacentes.

Para evitar este problema, el receptor (medidor de modulación) con el que se realizan las mediciones debe tener una relación S/N lo más favorable posible y se debe utilizar una antena direccional para eliminar las señales no deseadas, tanto como sea posible, y obtener el máximo voltaje de la señal deseada. El ancho de banda de medición tiene que ser seleccionado de tal manera que cubra la señal deseada únicamente.

3.3.4.2.2 Frecuencia y fase de modulación (FM/PM)

3.3.4.2.2.1 *Procedimiento de medición y equipo*

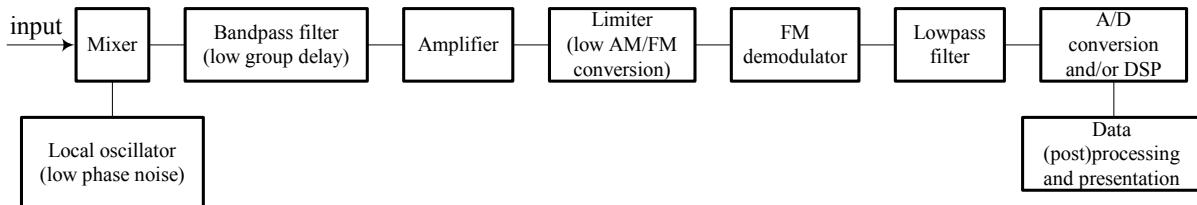
La frecuencia y la fase de modulación de frecuencia son en principio iguales, y dan lugar a la misma señal de radiofrecuencia (señal RF). Para señales moduladas en frecuencia/fase, el parámetro clave de medición es la desviación de frecuencia Δf que se puede leer directamente en los receptores de medición estándar. El índice de modulación,

$$m = \frac{\Delta f}{fm} \quad (7)$$

puede calcularse a partir del resultado de la medición de la Δf .

Todas las características de las desviaciones de frecuencia y fase se pueden medir usando los medidores de modulación. La Figura 26 muestra un diagrama de bloques general. Sin embargo, para las mediciones de PM y FM, el demodulador es FM, que generalmente es precedido por un limitador y, para la medición de PM, por un integrador.

FIGURA 26

Diagrama en bloques de un analizador de modulación angular

Otros requisitos especiales para un medidor de PM/FM son: ruido de fase natural en el oscilador local, retraso de grupo minimizado para el filtro pasa banda y conversión de bajada AM/FM para el limitador.

Otra posibilidad para medir la desviación de las estaciones de radiodifusión FM es la aplicación de un analizador de dominio de modulación DMF basado en IFM. La frecuencia de muestreo debe ser elegida de acuerdo con la modulación (por ejemplo, en un mínimo de 40 k muestras/s, si la frecuencia de modulación máxima es de 15 kHz), y el tiempo de repetición de la medición (ventana de tiempo) corresponde a la frecuencia más baja en la que se quiere determinar la desviación. Cuanto mayor sea el tiempo de medición, menor es la frecuencia de modulación que se puede ver después de procesar las muestras.

Las medidas de desviación de fase y frecuencia de las señales deseadas se llevan a cabo como mediciones de valor pico, ya que, por definición, las desviaciones, la fase y la frecuencia de las señales de comunicación son desviaciones pico. Sin embargo, si las mediciones de tasas de ruido o de señal a ruido o de señal más ruido más distorsión a ruido más distorsión (SINAD) deben llevarse a cabo, los valores r.m.s. o valores ponderados casi pico de las desviaciones correspondientes tienen que ser tomados en consideración. Por lo tanto, los medidores PM y FM suelen estar equipados con detectores para dar resultados correctos de r.m.s., SINAD y casi pico (Recomendación UIT-R BS.468-4 [8]).

3.3.4.2.2.2 Resultados erróneos debido a la recepción multirayecto

Las mediciones de desviación de las señales de FM con un alto contenido de AM debido a la propagación multirayecto producen resultados erróneos. El valor indicado puede ser excesivamente alto (por ejemplo, por un factor de 2). La recepción multirayecto se debe evitar siempre que se lleven a cabo mediciones de la desviación.

3.3.4.2.2.3 *Medición simultánea de AM y PM/FM*

La propagación multirayecto es un problema general para las señales de FM en las bandas VHF y en frecuencias más altas. El resultado de la propagación multirayecto en sistemas de FM es una distorsión inaceptable de la señal modulada. Debido a la propagación multirayecto, PM o FM se convierten en un cierto porcentaje de AM, mediante la adición vectorial en la antena de recepción. Por lo tanto, la propagación multirayecto puede determinarse midiendo la AM de una portadora de frecuencia modulada. Con este fin, el medidor de modulación tiene que medir la AM y PM/FM simultáneamente. La calidad de la recepción de FM sufre si el contenido de AM está por encima de cierto porcentaje. La calidad de la recepción se deteriora perceptiblemente si el coeficiente de conversión es $>6\%/\text{kHz}$ (mono) o $>2\%/\text{kHz}$ (estéreo). Cuando esto pasa, es necesario determinar si la calidad de las señales de radiodifusión de FM es suficiente y se debe medir el porcentaje de PM/FM vs. la conversión AM.

Para este fin, existen instrumentos que ofrecen medidas paralelas de desviación y profundidad de modulación realizando un cálculo inmediato del factor de conversión, expresado en % de profundidad de la modulación sobre la desviación kHz FM.

3.3.4.2.3 *Modulaciones análogas especiales*

3.3.4.2.3.1 *Modulaciones de televisión (banda lateral vestigial, VSB)*

Una propiedad importante de modulación análoga de las transmisiones de televisión en las bandas VHF/UHF es el nivel de las subportadoras (por ejemplo, para las ráfagas de color y sonido) relativas a la portadora de video. Esto se puede medir con un analizador de espectro con un ancho de banda de resolución de, por lo menos, 100 kHz. Los valores nominales dependen del sistema y se pueden obtener de la documentación de estandarización adecuada.

De acuerdo con el respectivo estándar, las partes de la señal de televisión se mantienen constantes en amplitud, independientemente del contenido de la imagen. Por esta razón, la medición convencional de profundidad de modulación de video no tiene ningún sentido. La presentación de la señal de video IF o señal demodulada de video en un osciloscopio es útil y proporciona una buena impresión de la modulación. Un ancho de banda mínimo de 5.5 MHz de la salida IF y, en caso de que se utilice, el demodulador de video del receptor es un requisito previo para la correcta presentación. Los analizadores especiales de TV análoga están disponibles y permiten el análisis detallado de la modulación de la imagen, incluyendo el contenido de las líneas de prueba insertadas entre los cuadros subsecuentes.

Las mediciones de la desviación en los canales de sonido se pueden realizar de la manera convencional, siempre y cuando la selectividad del medidor de modulación sea suficiente.

3.3.4.2.3.2 *Modulación en banda lateral única (SSB) con supresión de la portadora*

Con este tipo de modulación, la portadora es suprimida y la profundidad de modulación no es definida. En consecuencia, la profundidad de modulación no se puede medir.

3.3.4.2.3.3 *Modulación en banda lateral independiente (ISB)*

Las afirmaciones anteriores con respecto a la SSB con supresión de la portadora también aplican para la modulación en banda lateral independiente (ISB) con supresión de la portadora (B8E). Ninguna medición convencional de las características de modulación es posible.

3.3.4.2.3.4 *Modulación de amplitud dinámica (DAM)*

Esta modulación reduce el nivel de la portadora cuando la profundidad de la modulación es muy baja para ahorrar energía de transmisión. La potencia de la portadora es una función del nivel de modulación. En este caso, sin el conocimiento de los detalles de las características de la señal transmitida, no puede ser correcta la indicación de un medidor de modulación convencional. Para saber si se utiliza o no se utiliza DAM se tiene que medir el nivel promedio de la portadora durante un tiempo lento y constante.

3.3.4.3 MODULACIÓN DIGITAL

3.3.4.3.1 Sistemas de una sola portadora

Dependiendo de ciertos parámetros del sistema, una sola portadora, ya sea amplitud, frecuencia y/o fase modulada como ASK, FSK, PSK, QAM y MSK, tiene similares espectros, si no iguales, y no pueden ser distinguidos fácilmente con un analizador de espectros de barrido. Muy a menudo, no son posibles las mediciones de profundidad de modulación y desviación de frecuencia usando los medidores de modulación o los receptores de medición estándar. En cambio, las siguientes características de modulación pueden ser de interés:

- Tasa de símbolo.
- Identificación de la modulación.
- Filtrado de banda base.
- Error de modulación.

3.3.4.3.2 Tasa de símbolo

Para decodificar una señal digital, el receptor debe estar sincronizado en tiempo con el transmisor, lo que significa que las tasas de símbolo deben coincidir exactamente. A menos que se utilice un equipo especializado de identificación de señal, los receptores de monitoreo capaces de analizar señales digitales, tales como analizadores de señales vectoriales, solo funcionan cuando el operador ha introducido la tasa de símbolo correcta. Este tipo de equipos de medición no pueden medir la tasa de símbolo y, si esta se desconoce, el análisis y decodificación no son posibles. En cambio, los analizadores especiales de modulación digital deben utilizarse para que sea posible medir la tasa de símbolo mediante la aplicación de métodos matemáticos, como la correlación del espectro, elevando el nivel espectral a la potencia de 2 o de cruce por cero, cuya explicación iría más allá del alcance de esta sección.

Debido al cambio suave de la amplitud y/o la fase de banda base filtradas, generalmente no es posible medir la tasa de símbolo con un osciloscopio conectado a la IF de un monitor.

Como regla general, sin embargo, puede tenerse en cuenta que la tasa de símbolo es aproximadamente igual al ancho de banda ocupado por una señal. La Tabla 4 muestra algunos ejemplos comunes de los sistemas digitales de una sola portadora.

TABLA 4
Velocidades de símbolo y anchos de banda de sistemas de una sola portadora

Sistema	Ancho de banda	Velocidad de símbolo
Radio móvil convencional (mono-canal)	12.5 kHz	9600 bps
	12.5 kHz	4800 bps
	6.25 kHz	4800 bps
Radio móvil avanzada (<i>trunking</i>)	25 kHz	3600 bps
	12.5 kHz	3600 bps
	25 kHz	9600 bps
	12.5 kHz	9600 bps
Tetrapol	7.2 kHz	8 kSymb/s
TETRA	21 kHz	18 kSymb/s
DECT	1.1 MHz	1.152 MSymb/s
GSM	250 kHz	270.833 kSymb/s
UMTS (Europeo)	4.2 MHz	3.84 MSymb/s
Bluetooth	950 kHz	1 MSymb/s
WLAN DSSS (802.11b)	13 MHz	11 MSymb/s

3.3.4.3.3 Identificación de modulación

Como se dijo anteriormente, no es posible identificar de forma única cada modulación de la portadora mediante receptores de medición estándar o analizadores de espectros de barrido. Sin embargo, pueden obtenerse algunas “pistas” a través de la medición de la diferencia entre el pico y el nivel RMS (para las señales de pulso: la diferencia entre el nivel de ráfaga máxima y promedio). Esta diferencia se llama factor cresta. Si es cero (donde ambos niveles son iguales), la modulación solo puede ser FSK o MSK, porque todas las otras modulaciones con una sola portadora tienen amplitud inherente de modulación.

Para modulaciones FSK y MSK, el desplazamiento de frecuencia se puede medir con un osciloscopio conectado a la IF de un receptor de medida estándar.

Para modulación ASK, la profundidad de modulación se puede medir con un analizador de espectros en lapso de duración cero o con un osciloscopio conectado a la IF de un receptor de medición estándar.

Para determinar con más precisión la modulación utilizada se requieren equipos que realicen las funciones de los analizadores de señales vectoriales o analizadores FFT, que sean capaces de mantener la amplitud, frecuencia y fase de la señal moduladora. Después de insertar la tasa del símbolo, estos analizadores permiten ver el diagrama de constelación, como en la Figura 27.

Se puede obtener más información sobre las propiedades de la modulación si los analizadores también muestran el vector de la RF entre los puntos de la constelación (es decir, de manera continua, en cualquier momento). La representación resultante es llamada, comúnmente, diagrama vectorial. La Figura 28 muestra el diagrama vectorial de la señal de 8-PSK de la Figura 27.

FIGURA 27
Diagrama de constelación de una señal 8-PSK

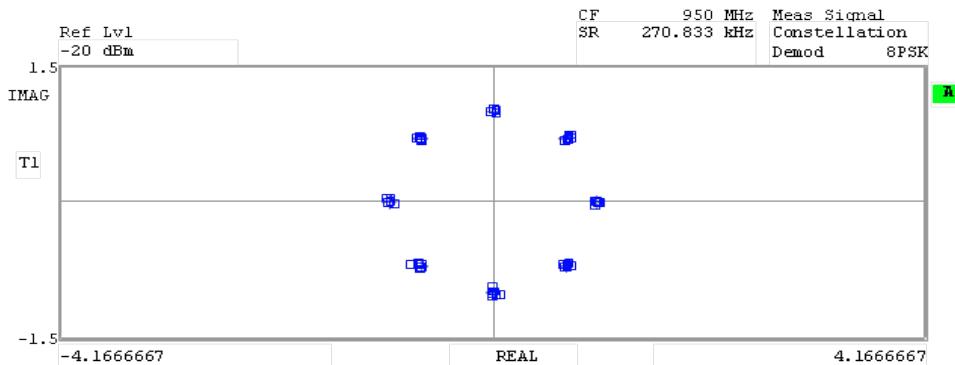
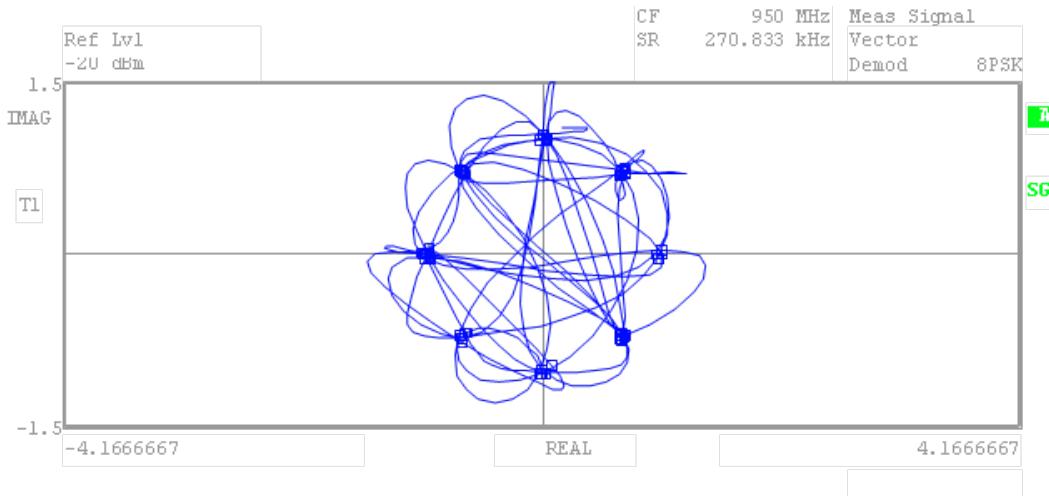


FIGURA 28

Diagrama vectorial de una señal de 8-PSK

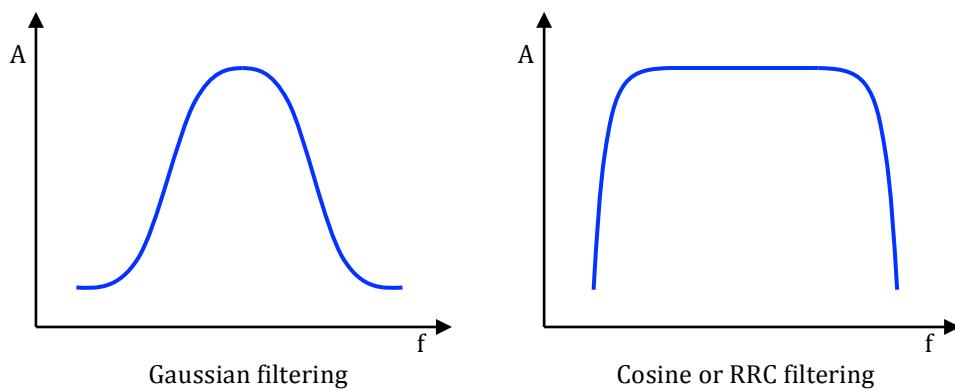


3.3.4.3.4 Filtrado de la banda base

El filtro Gausiano y de Coseno (o raíz de coseno elevado = RRC) se utiliza para reducir el ancho de banda de las señales de una sola portadora digital. El tipo de filtrado que se utilice para la banda base se puede determinar por la forma característica del espectro de radiofrecuencia RF (ver Figura 29).

FIGURA 29

Espectros de señales digitales filtradas de una sola portadora



Los analizadores de señales vectoriales generalmente son capaces de mostrar los componentes I y Q de la señal modulante en el dominio de tiempo. Lo anterior se puede apreciar en las siguientes dos figuras, utilizando como ejemplo una señal QPSK modulada, con una longitud de 10 símbolos. En la Figura 30 no se aplica filtrado de la banda base. La Figura 31 muestra la misma señal con filtrado de coseno de la banda base.

FIGURA 30

*Diagrama vectorial e I/Q en el dominio del tiempo
de una señal QPSK no filtrada*

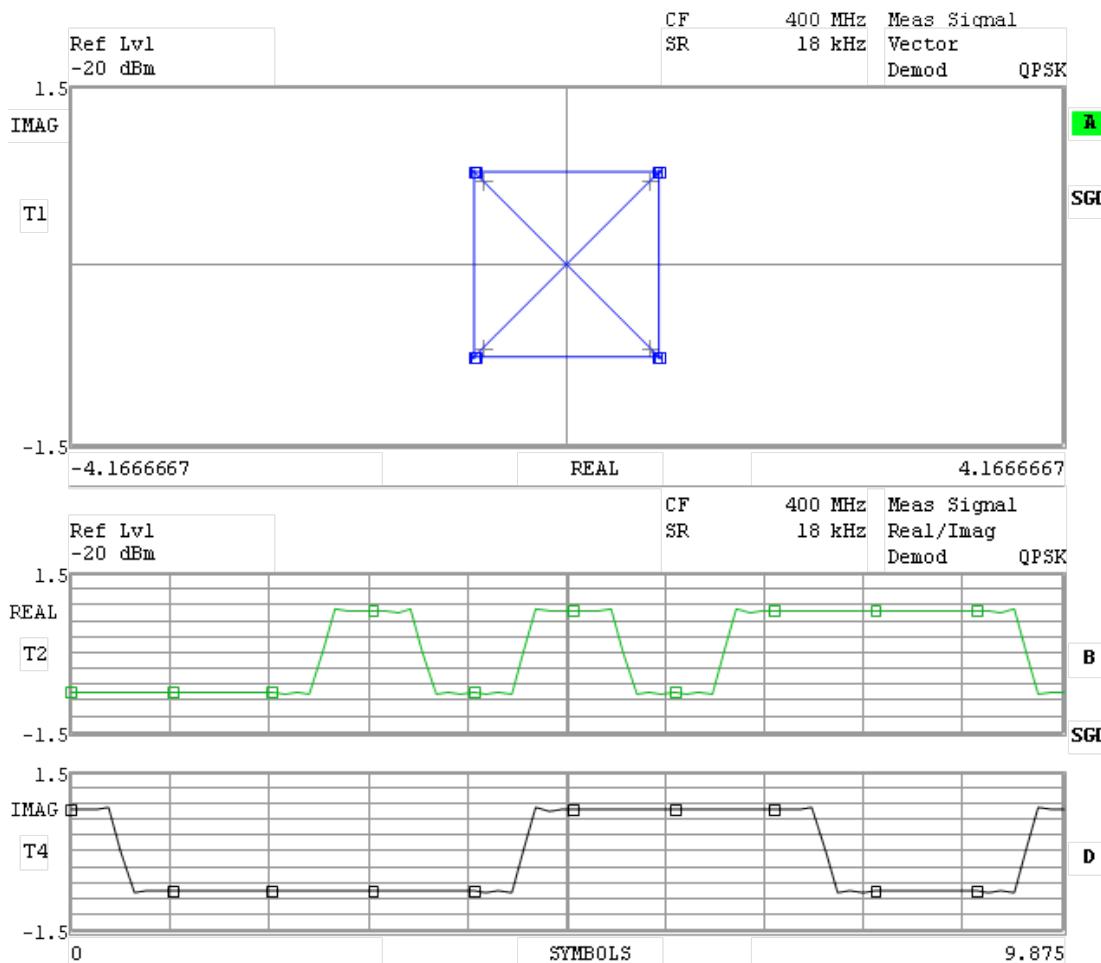
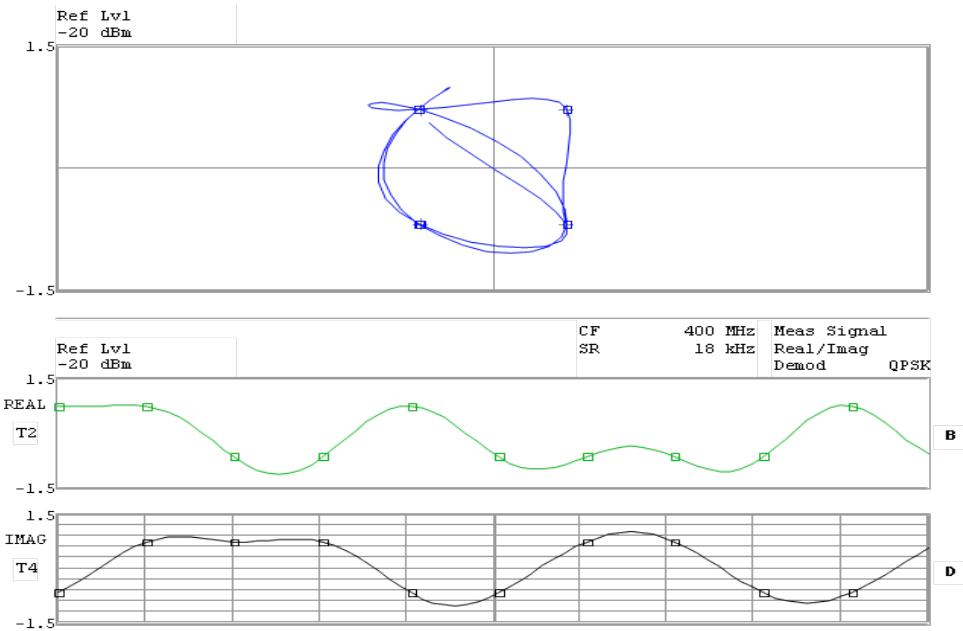


FIGURA 31

Diagrama vectorial e I/Q en el dominio del tiempo de una señal QPSK con filtrado de Coseno



Se puede observar que la filtración “suaviza” el filo de los bordes en la modulación de banda base, mientras asegura que el vector RF alcance los puntos nominales de constelación exactamente al mismo tiempo que la decodificación. En ocasiones, los cambios más ligeros en los componentes I y Q hacen que se disparen los puntos de la constelación, lo cual eleva la amplitud máxima de la señal RF. Sin embargo, el ancho de banda se reduce significativamente.

3.3.4.3.5 Error de modulación

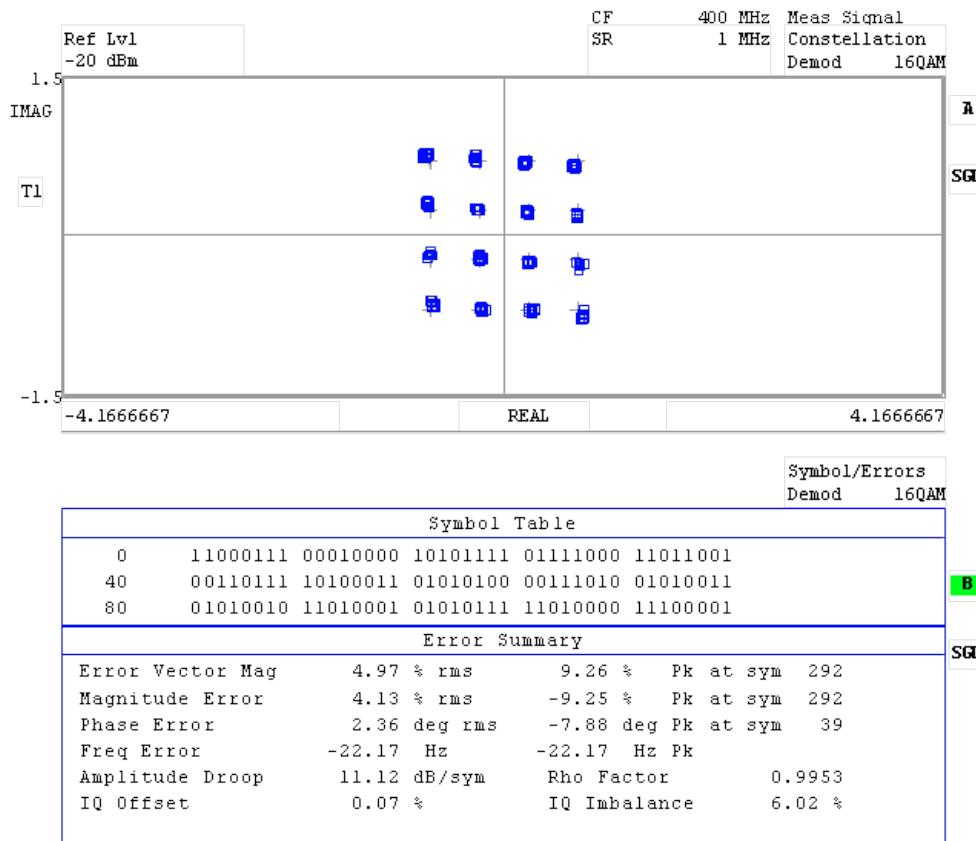
Los analizadores de señales vectoriales generalmente son capaces también de medir, por los menos, los siguientes errores:

- Desplazamiento de cuadratura.
- Desequilibrio de ganancia.
- Descompensación de I/Q.

La Figura 32 muestra la medición de error de una señal 16-QAM, con un desplazamiento considerable de I/Q.

FIGURA 32

Ejemplo de medición de error de modulación



La suma de todos estos errores de modulación se puede expresar como la magnitud de vector de error (EVM), el cual generalmente se expresa en porcentaje (%).

3.3.4.4 MULTIPLEXADO POR DIVISIÓN DE FRECUENCIA ORTOGONAL CODIFICADA (COFDM)

Para las señales de COFDM, pueden ser de interés los siguientes parámetros de modulación:

- Tipo de modulación.
- Número de portadoras.
- Espaciamiento de la portadora.
- Tiempo de símbolo.
- Intervalo de guarda.

3.3.4.4.1 Tipo de modulación

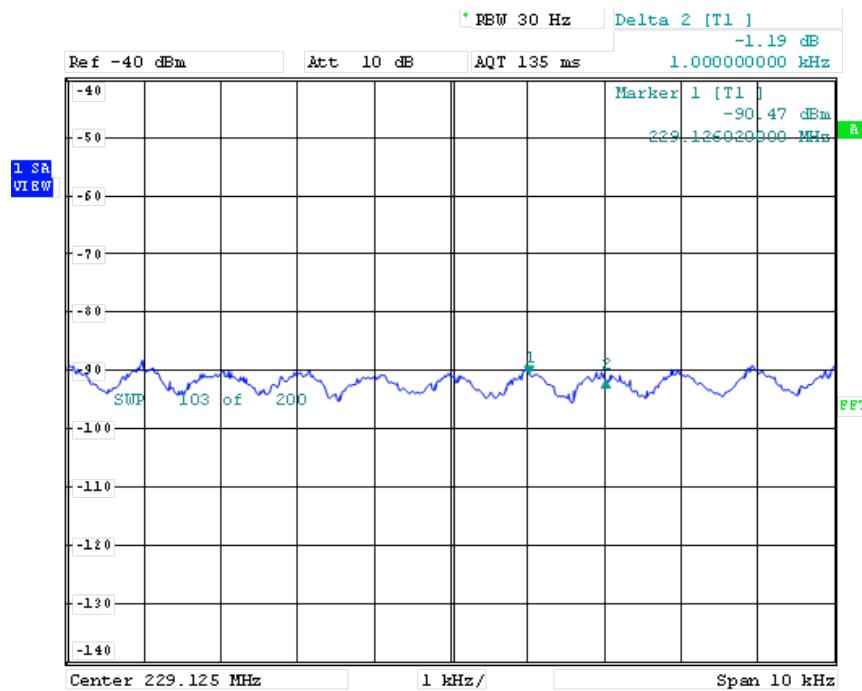
Como con los sistemas de una sola portadora, el tipo de modulación no se puede determinar usando un equipo de monitoreo estándar como, por ejemplo, analizadores de espectro. Incluso la mayoría de los analizadores vectoriales solamente trabajan con sistemas de una sola portadora. Para separar las portadoras individuales de un conjunto COFDM se requieren analizadores de señal especializados. Estos analizadores, generalmente, son capaces de mostrar el diagrama de constelación de todas las portadoras o solamente del número de portadoras seleccionadas. A partir de este diagrama se puede identificar el tipo de modulación.

3.3.4.4.2 Número de portadoras y espaciado

Debido a su modulación, los espectros de las subportadoras se montan unos sobre otros, lo que hace difícil separarlos visualmente con un analizador de espectro. Sin embargo, en modo de rastreo a largo plazo junto con una resolución estrecha del ancho de banda (RBW $<1/10\Delta f$), el analizador de espectro puede mostrar una imagen como la de la Figura 33:

FIGURA 33

Parte de un espectro de COFDM con alta resolución



El espectro ilustrado en la Figura 33 es parte de una señal DAB donde se puede medir un espaciado de la portadora f de 1 kHz. El número de portadoras se puede calcular por el ancho de banda entre las portadoras externas, que se determina fácilmente con los analizadores de un espectro y el espaciamiento de la portadora.

3.3.4.4.3 Tiempo de símbolo

$$\text{El tiempo del símbolo } T_s \text{ es} \quad T_s = \frac{1}{\Delta f} \quad (8)$$

En el ejemplo ilustrado en la Figura 33, el tiempo de símbolo resultante sería 1 ms.

3.3.4.4.4 Intervalo de guarda

La longitud del intervalo de guarda T_g no se puede medir con el equipo de monitoreo estándar. En su lugar, se deben utilizar analizadores especializados de señal OFDM. Una forma para determinar el tiempo de guarda con este tipo de equipo es realizando un proceso de autocorrelación en la señal de tiempo. El resultado mostrará los picos para esos intervalos de tiempo donde se repite parte de la información transmitida. Estos tiempos serán $T_s + T_g$. Si se conoce el T_s (o si se ha medido antes) puede calcularse el T_g .

3.3.5 *Medidas de la intensidad de campo (incluyendo potencia y medidas de la PFD)*

3.3.5.1 INTRODUCCIÓN

Los términos “medida de la intensidad de campo” y “medida de la densidad del flujo de potencia”, de la manera como se aplican aquí, están pensados para aplicarse a cuatro categorías generales de medida:

- 1) Mediciones realizadas con instalaciones portátiles o móviles, para obtener datos relativamente instantáneos o a corto plazo, en una o varias ubicaciones.
- 2) Mediciones realizadas con instalaciones móviles para obtener parámetros estadísticos de cobertura en el campo de la radio móvil.
- 3) Medidas a corto plazo en una ubicación fija, generalmente como apoyo a otras operaciones de monitoreo.
- 4) Medidas a largo plazo que implican registros de la intensidad de campo y registros de análisis de tablas, almacenamiento y análisis de registros de mediciones realizado mediante el uso de computadoras.

3.3.5.1.1 Propósito de las mediciones

Las medidas de la intensidad de campo y PFD se hacen generalmente para uno o más propósitos, los cuales incluyen:

- Determinar la intensidad suficiente de una señal de radio y la eficacia de la fuente de una emisión para un servicio determinado (por ejemplo, un transmisor).
- Determinar los efectos de interferencia intencional de una emisión de radio dada (compatibilidad electromagnética).
- Determinar los efectos de intensidad de una señal y los efectos de la interferencia no intencional generada por señales con forma de onda de cualquier tipo de equipo, producidas por equipos que irradian energía electromagnética (por ejemplo, una lavadora), y así mismo determinar la eficacia de las medidas de supresión.
- Medir fenómenos de propagación, para el desarrollo y verificación de los modelos de la propagación.
- Recopilar información de ruido radioeléctrico, por ejemplo, el ruido de radio atmosférico según la Opinión 85 [9].
- Asegurar cumplimiento de las disposiciones pertinentes del RR.
- Determinar peligros por radiación no ionizante.

Los valores aproximados de la intensidad de campo para un sitio de recepción específico se pueden obtener usando métodos de predicción y modelos de computador. Sin embargo, es importante recordar que hay muchos factores desconocidos, los cuales necesitan y/o justifican las mediciones en sitio. Bajo condiciones realistas, la propagación de las ondas radioeléctricas muestra un comportamiento determinante en cuanto al espacio aleatorio superpuesto y dependencia del tiempo.

Las cantidades de influencia a considerar para la medida de la intensidad de campo y la densidad del flujo de potencia deben ser:

- Lectura del receptor.
- Atenuación de la conexión entre la antena y el receptor.
- Factor de antena.
- Precisión del voltaje de la onda sinusoidal del receptor.
- Selectividad del receptor en relación con el ancho de banda ocupado.
- Piso de ruido del receptor.
- Efectos de una mala unión entre el puerto de la antena y el receptor.
- Interpolación de la frecuencia del factor de antena.
- Variación del factor de antena con la altura sobre el suelo y otros efectos de acomplamiento mutuo.
- Directividad de la antena.

- Respuesta a la polarización cruzada de la antena.
- Balance de la antena.
- Bloqueo y reflexiones debidos a obstáculos.

En esta sección, las medidas de la intensidad de campo y PFD armonizan los procedimientos de medición para que se puedan intercambiar la intensidad de campo y los datos PFD, entre las administraciones, usando medios magnéticos o electrónicos.

Como medida de precaución, las medidas de la intensidad de campo o PFD deben ser complementadas en algunos casos por otras medidas de la calidad de la señal, como por ejemplo la conversión de FM-a-AM en la propagación de transmisiones de FM y BER y la respuesta al impulso del canal (CIR), para sistemas de comunicación móvil digital por transmisión multirayecto.

3.3.5.2 CANTIDADES Y UNIDADES DE MEDIDA

3.3.5.2.1 Condición de medida

El área que rodea una antena transmisora se divide generalmente en tres regiones:

- Región reactiva cerca del campo.
- Región irradiadora cerca del campo (Fresnel).
- Región distante del campo (Fraunhofer).

La región reactiva cerca del campo se define como “esa parte de la región cerca del campo que se encuentra en el alrededor inmediato de la antena, y en la cual domina el campo reactivo”.

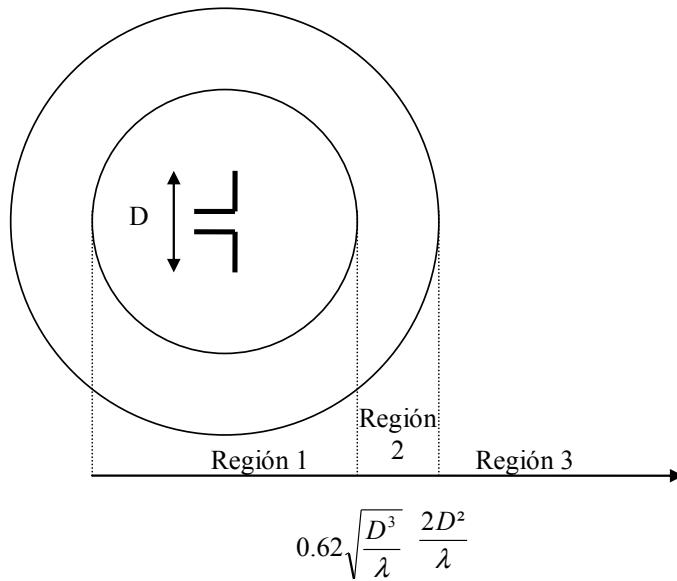
La región irradiadora cerca del campo se define como “esa región del campo de una antena entre la región reactiva y la región distante del campo, en donde los campos de radiación predominan y en donde la distribución angular del campo es dependiente de la distancia de la antena”.

La región lejos del campo se define como “esa región del campo de una antena donde la distribución angular del campo es esencialmente independiente de la distancia de la antena”. Los parámetros de la antena proporcionados por los fabricantes están disponibles en esta región y el cociente E sobre H es igual a 377Ω .

Los límites de cada región pueden ser definidos como se ilustra en la Figura 34, donde D es la dimensión más grande de la antena y λ es la longitud de onda:

FIGURA 34

Límites de los campos



3.3.5.2.2 Intensidad de campo eléctrico y magnético

La unidad de medida de la intensidad de campo que se usa generalmente es voltio por metro (V/m) y submúltiplos decimales. Esta unidad es rigurosa y solo es aplicable al componente eléctrico (E) del campo, pero generalmente también se usa para expresar medidas de la intensidad de campo magnético o los componentes magnéticos de campos irradiados por su relación con la impedancia de la propagación, en el espacio libre (377Ω), en cuyo caso, el campo magnético (H) en amperios por metro en el campo distante se determina así:

$$H = \frac{E}{377 \Omega} \quad (9)$$

Para la radiación o los campos lejanos en espacio libre, las energías en los dos campos son iguales (por las definiciones de campo cercano y lejano, ver Kraus [1950] [10]). El tipo de antena seleccionado debe ser apropiado para las señales particulares involucradas. Si el ancho de banda de la emisión que se mide es más amplio que el ancho de banda del equipo de la intensidad de campo, se debe considerar hasta qué grado el ancho de banda limitado a la intensidad de campo afecta la lectura de la intensidad de campo real de la señal interceptada.

Las intensidades de campo se miden por medio de antenas con factores de antena conocidos. El factor eléctrico de la antena K_e de una antena receptora es la intensidad de campo eléctrico E de una onda plana, dividida por el voltaje de salida de la antena V_o a su resistencia de carga nominal (la cual normalmente es de 50Ω).

$$K_e = E/V_o \quad (10)$$

De igual manera, el factor magnético de la antena para una antena loop (espira) es la intensidad del campo magnético H de una onda plana, dividida por el voltaje de salida de la antena V_o a su resistencia de carga nominal (la cual normalmente es 50Ω).

$$K_h = H/V_o$$

La relación entre el factor eléctrico y magnético de la antena en campo lejano y en espacio libre está dada por:

$$K_e = 120\pi K_h \text{ or, in } dB(m^{-1}) \quad K_e = K_h + 51.5dB$$

Con frecuencia, en vez del factor antena se da la ganancia G de una antena en relación con una antena isotrópica. La relación entre la ganancia isotrópica G y el factor K_e de la antena se deriva así:

$$K_e = \frac{1}{\lambda\sqrt{G}} \cdot \sqrt{\frac{4\pi Z_0}{R_N}} = \frac{9.73}{\lambda\sqrt{G}} = \frac{f/MHz}{30.81\sqrt{G}}$$

donde $Z_0 = 377 \Omega$ y $R_N = 50 \Omega$

Puesto que los valores de intensidad de campo y voltaje se miden normalmente como niveles en $dB(\mu V)$ y $dB(\mu V/m)$, los factores de la antena también se utilizan en su forma logarítmica donde:

$$\text{y } g = 10 \log G k_e = 20 \log K_e$$

el factor K_e de la antena se da en $dB(m^{-1})$ como:

$$k_e = -29.77 \text{ dB} - g + 20 \log(f/MHz)$$

y de esta manera el nivel de la intensidad de campo e se puede medir a partir del voltaje de salida de la antena v_O usando:

$$e/\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = v_O/\text{dB}(\mu\text{V}) + k_e/\text{dB}(\text{m}^{-1})$$

Puesto que k_e normalmente no contiene la atenuación a_C del cable de transmisión entre la antena y el receptor de medición, la ecuación tiene que ser ampliada a (v_O que es ahora el voltaje de entrada del receptor de medición):

$$e/\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m}) = v_O/\text{dB}(\mu\text{V}) + k_e/\text{dB}(\text{m}^{-1}) + a_C/\text{dB}$$

Ejemplo: Una antena con una ganancia de 6.5 dB en 100 MHz tiene un factor de antena de 3.7 dB en esta frecuencia. Con un voltaje de entrada v_O de 33.4 dB(μV) y una atenuación de cable a_C de 1.1 dB la intensidad de campo será 38.2 dB($\mu\text{V}/\text{m}$).

3.3.5.2.3 Intensidad de campo equivalente incidente

Los voltajes medidos en la entrada de un receptor se pueden expresar en términos de voltajes correspondientes inducidos en la antena receptora y, por lo tanto, inferir la intensidad de campo asociada.

En el caso de antenas sencillas, por ejemplo, varilla vertical o loop, las cuales responden solamente a ondas provenientes de una sola dirección de polarización, por ejemplo, vertical u horizontal, es conveniente introducir el concepto de intensidad de campo equivalente-incidente. Este término se utiliza especialmente en el rango de alta frecuencia HF y se refiere al campo resultante con la misma polarización al cual responde la antena. Para cualquier señal, este puede ser considerado como la suma de la onda celeste y la onda reflejada en tierra. Los medidores portátiles de intensidad de campo comerciales y las instalaciones fijas usando antenas verticales cortas o loop son calibrados normalmente en términos de intensidad de campo equivalente-incidente. Sin embargo, debe notarse que el concepto de intensidad de campo equivalente-incidente tiene poca relevancia física cuando es utilizado con antenas extendidas con ramas en diversas direcciones. Por ejemplo, romboide o con recepción por fuera del eje al usar dipolo en antenas loop.

La relación entre la intensidad de campo equivalente-incidente y el voltaje inducido en la antena receptora es una función de la frecuencia. A diferencia de la relación correspondiente para la intensidad de campo r.m.s. de la onda celeste, esta es independiente de la dirección de llegada de la onda y de las constantes de suelo. La intensidad de campo equivalente-incidente es por lo tanto un parámetro que es más conveniente utilizar cuando se comparan resultados de medidas hechas en diversas ubicaciones y por diferentes equipos. El uso de la intensidad de campo de la onda celeste r.m.s. requeriría del conocimiento de los componen-

tes de onda y campo, polarizaciones y ángulos de llegada que prevalezcan, además de un conocimiento exacto del patrón de la antena (véase la Recomendación UIT-R P.845-3 [11]).

3.3.5.2.4 Potencia media disponible del receptor

El método de predicción recomendado por la UIT-R (ver Recomendación ITU-R P.533-11 [12]) para estimar intensidades de señal de la onda celeste arroja los valores expresados en intensidad de campo o de la potencia media disponible del receptor en ausencia de pérdidas en el sistema receptor. El parámetro de intensidad de señal preferido con el propósito de comparar resultados previstos y medidos, es la potencia media disponible en el receptor, pues es independiente de las direcciones de llegada de la onda y de la polarización (véase la Recomendación UIT-R P.845-3 [11]).

3.3.5.2.5 Densidad del flujo de potencia

En frecuencias más altas, especialmente sobre 1 GHz, la medida en términos de PFD (S), en muchos casos, proporcionará información más convencional referente a la intensidad eficaz de la emisión. La unidad de medida de PFD es el vatio por metro cuadrado (W/m^2). Para una onda polarizada linealmente en el espacio libre $S = E^2/Z_0$, donde E es la intensidad de campo en voltios por metro. El denominador Z_0 es el valor de la obstrucción del espacio libre en ohmios (377Ω).

La definición del área eficaz A_e para la medida de PFD es de esta manera:

Donde P es la potencia recibida en W, S es PFD (W/m^2) y G es la ganancia isotrópica de la antena (dB), el área eficaz A_e es:

$$A_e = P/S \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = \frac{\lambda^2 G}{12.57} = \frac{(84.62 \text{ m})^2}{(f/\text{MHz})^2} G \quad \text{y} \quad S = P/A_e$$

Usando $p = 10 \log P$ y $s = 10 \log S$, el área eficaz a_e , en cantidades logarítmicas dB(m²) es:

$$a_e/\text{dB(m}^2\text{)} = 38.55 + g - 20 \log (f/\text{MHz}) \quad \text{y entonces} \quad s/\text{dB(W/m}^2\text{)} = p/\text{dB(W)} - a_e/\text{dB(m}^2\text{)}$$

Si la potencia recibida p se da en dBm, el PFD s en dB(W/m²) se puede derivar usando:

$$s/\text{dB(W/m}^2\text{)} = p/\text{dBm} - a_e/\text{dB(m}^2\text{)} - 30 \text{ dB}$$

Puesto que a_e normalmente no contiene la atenuación ac del cable de transmisión entre la antena y el receptor de medición, la ecuación tiene que ser ampliada a:

$$s/\text{dB(W/m}^2\text{)} = p/\text{dBm} - a_e/\text{dB(m}^2\text{)} - 30 \text{ dB} - a_c/\text{dB}$$

Ejemplo: Una antena tiene una ganancia g de 15 dB a 1 GHz, luego el área eficaz a_e es $-6.45 \text{ dB(m}^2\text{)}$. Con una potencia recibida de -73.6 Dm y una atenuación de cable de 3.5 dB, el PFD (s) será $-106.6 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ o $+13.4 \text{ dB(pW/m}^2\text{)}$.

Nota: Algunas veces es útil calcular el área eficaz de un factor de antena dado o viceversa. Para ese propósito se dan las ecuaciones siguientes (con las cantidades según lo definido arriba):

$$A_e = \frac{1}{K_e^2} \frac{Z_0}{R_N} \text{ AND} \quad a_e/\text{dB(m}^2\text{)} = 8.77 \text{ dB} - k_e/\text{dB(m}^{-1}\text{)} \quad (11)$$

3.3.5.3 EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE INTENSIDAD DE CAMPO O PFD

La medida de la intensidad de campo se realiza mediante la combinación de los siguientes elementos:

- Una antena calibrada.
- Una red de acoplamiento y/o una línea de transmisión.
- Un receptor de medición o un analizador de espectro con circuitos de atenuación y preselección.
- Se prefieren circuitos de amplificación delante del mezclador principal y filtro IF (intercambiable), filtros con baja tasa de ancho de banda menor a 60/6 dB.
- Un dispositivo de detección e indicación, como un medidor análogo o digital, o un conversor a/d con dispositivos de computación y visualización.
- Una fuente de calibración (por ejemplo, una señal CW estándar o generador de seguimiento, un generador de impulso o un generador de ruido aleatorio), que puede ser también una pieza del receptor de medición o del analizador de espectro.

Estos elementos se pueden combinar en un solo instrumento, o en un número de instrumentos separados, cada uno realizando una o más de las funciones requeridas. Para el uso en aplicaciones, tales como la medición de los patrones de la antena o áreas de servicio de la estación, es práctica común utilizar un medidor portátil de intensidad de campo, que contiene todos los elementos antes mencionados, excepto la antena. En algunos casos, incluso, la antena hace parte integral del medidor de la intensidad de campo. En instalaciones fijas o móviles donde el peso y el consumo de energía no son tan importantes está disponible una amplia opción de combinaciones, desde un medidor de intensidad de campo estándar hasta

unidades individuales que consisten en un receptor, medidor, generador de señal estándar u otro dispositivo de calibración, y un sistema apropiado de antena.

Los sistemas de microprocesador son generalmente utilizados para controlar el receptor, calibrador, impresoras y/o plotters, y pueden indicar y almacenar los resultados de las mediciones, a menudo todas las piezas son incorporadas en una sola unidad.

El conocimiento del ancho de banda, la función estadística del detector (media lineal, media logarítmica, pico, cuasi-pico, función de la media cuadrática) y la constante de tiempo del medidor, tal como tiempo de medición por valor medido en el equipo usado en la medida de la intensidad de campo, son de considerable importancia cuando se observan las emisiones moduladas. Esta información, por lo general, está disponible para los instrumentos manufacturados comercialmente, pero, por lo general, no se sabe cuándo se utiliza el equipo compuesto, a menos que se lleven a cabo los pasos definidos para medir u obtener estos factores. El equipo compuesto requiere de personal experto y puede ser fuente de errores de medición.

El ancho de banda debe ser lo suficientemente amplio como para recibir la señal incluyendo las partes esenciales del espectro de la modulación. El tipo de detector debe asegurarse en cuanto a que la portadora de la señal sea medida, si fuera aplicable. Las siguientes funciones del detector y los anchos de banda que se requieren o recomiendan según los respectivos tipos (ejemplos) de señal, se ilustran en la Tabla 5.

La precisión de los ensambles del equipo compuesto es impredecible, a menos que se conozcan todos los detalles de las conexiones del equipo y del cableado, incluyendo los parámetros enumerados anteriormente. Por lo anterior, es práctica común el calibrar los montajes e instalaciones compuestas de los registros de la intensidad de campo por medio de la comparación directa, con un medidor de la intensidad de campo o un generador de señal de características estables y conocidas.

Ejemplos de equipos con tecnología de punta: en el mercado se encuentran disponibles receptores de medición y medidores desarrollados de intensidad de campo controlados por microprocesador automático, en forma de unidades compactas, bien sea para el rango de frecuencia 9 kHz a 3.0 GHz o rangos de frecuencia reducida.

Los generadores con calibración incorporada, los atenuadores de precisión, la calibración y ajuste de rango automáticos pueden establecer errores de medida del voltaje de entrada de menos de 1 dB sobre el rango completo de voltaje de entrada y un rango mayor de temperatura.

Pudiendo alcanzar una precisión de 1 dB del factor de antena, la precisión global de un sistema automático de medida de intensidad de campo está dentro de ± 2 dB sobre todo el rango de frecuencia. Las tablas individuales de los factores de atenuación de los cables y las antenas para cualquier antena calibrada se pueden ingresar en el receptor de medición

TABLA 5

Detector y funciones estadísticas y anchos de banda para los respectivos tipos de señal

Tipo de señal	Ancho de banda mínimo para el equipo (kHz)	Detector de función	
AM de doble banda lateral	9 o 10	Promedio lineal	
AM de banda lateral única	2.4	Pico	
FM señal de radiodifusión	120	Lineal (o log) promedio	
Portadora de video	120	Pico	
Señal GSM	300	Pico	
Señal UMTS	3 840	Pico	
Señal DAB	1 500	Pico	
TETRA	30	Ráfaga	
DVB-T	8000	r.m.s.	
ISDB	6000	r.m.s.	
Separación FM radio de canales en banda angosta	12.5 kHz 20 kHz 25 kHz	7.5 12 12	Linear (o log) promedio Linear (o log) promedio Linear (o log) promedio

Nota: Si el ancho de banda real de la medida es más pequeño que la señal a medir, se debe aplicar un factor de corrección.

para la indicación directa de la intensidad de campo. Los receptores están bien blindados de manera que la precisión de la medida no se vea afectada por un ascenso o descenso en los valores de la intensidad de campo.

3.3.5.4 DIVISIÓN EN RANGOS DE FRECUENCIA

En ocasiones es conveniente clasificar las técnicas para la medición de la intensidad de campo y PFD en tres rangos de frecuencia:

- Por debajo de 30 MHz.
- Entre 30 y 1000 MHz.
- Por encima de 1 GHz.

Esta división es útil porque la técnica óptima difiere para estos rangos. Hasta cierto punto, esto es el resultado de la relación entre las dimensiones de antenas prácticas y las longitudes de onda de las señales a medir, y también de los efectos de proximidad del terreno, el cual afecta las medidas en diferentes aspectos dentro de los tres rangos. Por debajo de 30 MHz (longitudes de onda mayores a 10 m), las antenas prácticas son generalmente pequeñas (0.1λ) comparadas con la longitud de onda. La antena de medición más común es una loop de una o más vueltas eléctricamente blindadas con un diámetro de alrededor de 0.6 m, o una antena de varilla vertical cuya longitud es corta comparada con un cuarto de la longitud de onda. Estas antenas pueden ser activas o pasivas.

Si se usa una antena activa, se debe tener especial cuidado para evitar la sobrecarga. La antena de varilla vertical se utiliza con contrapeso en la tierra. La antena de varilla tiene la ventaja de ser omnidireccional.

Por debajo de aproximadamente 30 MHz, en general, es necesario medir la intensidad de campo a alturas eléctricamente cercanas a la tierra. Las características del suelo y la vegetación cercana, los cables y las estructuras afectan en forma diferente la intensidad de los componentes eléctricos y magnéticos del campo y el ángulo de polarización. Pueden también provocar la obstrucción de la antena. Las medidas utilizando antenas espira blindadas son, con frecuencia, menos influenciadas por objetos cercanos que las que usan antenas de varilla.

A partir de 30 a 1000 MHz (longitud de onda de 10 m a 30 cm aproximadamente), las antenas prácticas tienen dimensiones que son comparables a la longitud de onda. Para una frecuencia fija en este rango, la antena más utilizada para mediciones de intensidad de campo es un dipolo resonante con la mitad de la longitud de onda. El dipolo está conectado al instrumento de medida por medio de un transformador balanceado-desbalanceado (balun) y una línea de transmisión coaxial. La antena dipolo resonante difiere de las antenas espira y de varilla corta en que es altamente eficiente (muy poca pérdida de resistencia con relación a la resistencia de radiación).

Con las antenas dipolo se debe tener cuidado para evitar o reducir el acoplamiento mutuo con el ambiente y el cable de la antena como fuente de incertidumbre. Las antenas de banda ancha o las antenas direcciones se utilizan usualmente en la parte superior de este rango de frecuencia, particularmente las antenas log periódicas y las antenas cónicas log-espíral. La directividad normalmente evitará o reducirá el acoplamiento mutuo con el ambiente.

Por encima de 1 GHz aproximadamente (longitud de onda más corta), el área de apertura del dipolo puede llegar a ser demasiado pequeña para proporcionar la sensibilidad ne-

cesaria. En estas frecuencias, lo normal es emplear las antenas que recogen energía de las aberturas grandes en relación con la longitud de onda, por ejemplo, cuernos y sistemas reflectores parabólicos. Estas antenas son caracterizadas generalmente por su alta eficacia (superior al 50%) y directividad apreciable. Se emplean líneas de transmisión coaxiales o guía de ondas.

3.3.5.5 ELECCIÓN DE SITIOS DE MEDIDA

Como se describió anteriormente, la intensidad de campo en un sitio de recepción depende del espacio y del tiempo. Por lo tanto, las medidas de la intensidad de campo con una antena en una ubicación fija (de posición fija en la tierra y dirección y altura fijas) pueden mostrar solamente la dependencia del tiempo de la intensidad de campo.

3.3.5.5.1 Instalaciones fijas

En la medida de lo posible, un campo debe seleccionarse teniendo en cuenta que las emisiones a registrarse estén relativamente lejos de perturbaciones causadas por estructuras locales o características del terreno. Los conductores aéreos (líneas de transmisión de energía eléctrica), edificios, árboles grandes, otras antenas o mástiles, colinas y otras características cercanas artificiales y/o naturales pueden distorsionar y alterar seriamente el frente de onda de la emisión. El grado hasta el cual estas condiciones limitan la validez de las medidas depende de un número de factores que incluye el rango de frecuencia y el tipo de orientación de la antena utilizada con el equipo de medida de la intensidad de campo. En las frecuencias HF y de rangos menores es común utilizar antenas mono polo verticales o arreglos de antenas de banda ancha con características de polarización vertical para la recepción y en algunos casos, por ejemplo, dipolos horizontales o verticales en las partes altas de los edificios. Estas antenas, sin embargo, deben ser utilizadas con precaución debido a las dificultades de calibración. Tales antenas son especialmente vulnerables a las estructuras y conductores aéreos.

En las frecuencias más altas, donde se utilizan antenas altamente direccionales, es importante que la trayectoria en la dirección general de la fuente de la señal sea despejada; además, la recepción multirayecto debida a la reflexión o retransmisión local de la señal deseada debe ser reducida al mínimo. Donde se utiliza una antena con alta tasa de ganancia hacia delante y hacia atrás (por ejemplo, las antenas montadas en reflectores esquineros o parabólicos), no hay mucha probabilidad de que las fuentes de reflexión o retransmisión tras del arreglo de antenas causen problemas, como con las antenas que tienen características direccionales limitadas.

Los sitios fijos se utilizan sobre todo para las medidas por debajo de aproximadamente 30 MHz. Para ese propósito se sugieren los siguientes criterios:

- Las inmediaciones del sitio deben ser terreno llano (situado en área relativamente plana).
- El nivel del piso para las antenas monopolio vertical, debe ser un terreno con conductividad relativamente alta y libre de gravilla o afloramientos de roca.
- Preferiblemente, no debe haber conductores aéreos (por ejemplo, antenas, líneas telefónicas o de energía, o edificaciones con techos de metal o edificaciones en ruinas) dentro de 100 m, al menos, del sitio de la antena. En las frecuencias más bajas, donde 100 m representa la mitad de longitud de onda o menos, en la frecuencia de funcionamiento, es deseable que los conductores aéreos sean localizados al menos a 20 m más lejos de la antena de recepción (para cada metro de altura del conductor aéreo con respecto al suelo), a una distancia igual o por lo menos de la mitad de la longitud de onda.

3.3.5.5.2 Instalación móvil

Las instalaciones móviles, en otras palabras, el equipo de medición de la intensidad de campo en un vehículo de monitoreo, tiene las siguientes ventajas sobre instalaciones fijas: pueden ser utilizadas en aplicaciones estacionarias cuando el vehículo no está en movimiento y en aplicaciones móviles, de manera que pueden usarse para observar la distribución de tiempo y espacio de la intensidad de campo.

3.3.5.5.2.1 *Aplicación estacionaria*

La solución preferida para encontrar el valor previsto de la intensidad de campo, especialmente en el rango VHF/UHF es, en muchos casos, realizar las mediciones de la intensidad de campo en varios puntos, pero variando la altura de la antena de medición. Esto se puede lograr moviendo el vehículo de punto a punto y midiendo la intensidad de campo en las frecuencias de interés a diversas alturas. La antena se monta sobre un soporte telescopico adherido al vehículo a una altura que, normalmente, es sobre el nivel del piso.

Debido a la propagación característica en estas bandas, la antena tiene que ser ajustada en la dirección y polarización de la señal recibida.

3.3.5.5.2.2 *Aplicación móvil (véase la sección 3.3.5.8)*

3.3.5.5.3 Mediciones con un medidor de intensidad de campo portátil

Las mediciones con un medidor de intensidad de campo portátil se hacen manualmente, con la antena cerca a la persona que lee los valores de la intensidad de campo. Las antenas varilla, sin embargo, deben ser puestas en tierra. Generalmente, se aplican los mismos criterios que para instalaciones fijas, salvo que se puede permitir una latitud algo ma-

yor, y siempre y cuando se utilice la técnica de "medida de conglomerados". Esta técnica implica hacer varias medidas separadas con la antena en una ubicación levemente diferente para cada medida (en el orden de uno a cinco metros de separación, dependiendo de la frecuencia, con el mayor valor aplicable a las frecuencias más bajas). El resultado es un conjunto o un grupo de mediciones alrededor de un punto central. Los valores individuales de la medida son luego promediados para llegar a un valor final.

En medidas en las que se usa una antena espira blindada, con solo algunas medidas serán suficientes, ya que este tipo de antena, que responde al componente magnético de la onda, generalmente se afecta menos por condiciones de perturbación a nivel local (efectos de reflexión y retransmisión) que las antenas de varilla o dipolo. Si el medidor de la intensidad de campo utiliza una espira u otro tipo de antena direccional y si se conoce el acimut aproximado de la estación medida, con respecto al sitio de medición, la presencia de perturbaciones locales puede a menudo ser detectada ajustando la antena para una máxima percepción de la señal y notando si la dirección de llegada coincide con la dirección real de la estación. Si la dirección de llegada indicada y la real difieren, estaría bien seleccionar un sitio diferente para la medida. Para las medidas en VHF y rangos más altos es posible que no se pueda encontrar un sitio sin perturbaciones, en cuyo caso, la técnica de medida de grupo, que implica diez o más medidas individuales sólidas, podría requerirse para llegar a resultados lo suficientemente precisos.

Considerando que la medida es realizada por un equipo independiente, el movimiento rápido del equipo y la proximidad con el usuario pueden influenciar y causar errores en el resultado. Por lo anterior, para realizar una buena medida con este equipo, se lo debe instalar en un trípode.

3.3.5.6 MÉTODOS DE MEDIDA

Según lo discutido en esta sección, los métodos de medida se dividen en dos categorías generales: métodos normales, donde se desea una óptima precisión, y los métodos expeditivos, donde es aceptable un menor grado de precisión, debido a los propósitos para los cuales se deben utilizar los resultados y en los cuales los procedimientos y/o instalaciones simplificados permiten completar las mediciones de una manera más rápida y conveniente.

Generalmente, los métodos normales se deben utilizar para la recolección de datos con propósitos científicos o propósitos regulatorios y de aplicación de la normatividad (por ejemplo, estudios de propagación, estudios de intensidad de campo, medidas de los patrones de la antena y medidas de atenuación de espurios, así como mediciones en los casos de interferencia fronteriza). Los métodos expeditivos se utilizan en conexión con otras operaciones en las estaciones de monitoreo fijas, donde es aceptable una aproximación de la intensidad de campo, en lugar de una medida más exacta (véase la Recomendación UIT-R

SM.378-7 [2]). En los casos en que la reproductibilidad de los resultados es de importancia, se debe utilizar el método normal para alcanzar el grado más alto de precisión.

La Recomendación UIT-R SM.378-7 [2] sugiere que la precisión esperada en medidas de la intensidad de campo, excepto donde existen limitaciones debido al receptor de nivel de ruido, ruido atmosférico o interferencia externa, debe ser:

<i>Banda de frecuencia (MHz)</i>	<i>Exactitud de la medición (dB)</i>
30 MHz y por debajo	± 2
Sobre 30 MHz	± 3

MÉTODOS NORMALES

Para realizar mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de monitoreo se pueden usar diferentes métodos, dependiendo de la información que se desea obtener, incluyendo:

- Registro continuo durante períodos de tiempo extendidos (para obtener información sobre la propagación con respecto a las variaciones estacionales y del ciclo de mancha solar, la información se ha recogido sobre trayectorias particulares en la banda de radiodifusión en MF con una cobertura aproximada de 30 años).
- Registros continuos en períodos de tiempo cortos para determinar las variaciones día-noche u otras variaciones a corto plazo en el nivel de la señal.
- Muestreo en intervalos cortos (por ejemplo, para 5 s, cada 2 minutos).
- Muestreo en intervalos más largos (por ejemplo, para 10 min, cada 90 minutos).

En algunas instancias, especialmente cuando se está observando una onda de tierra (u onda de superficie), una medida sencilla en un lapso de tiempo corto puede ser suficiente, dependiendo del propósito para el cual se requiere la medida. En ciertos casos, por ejemplo, cuando se trata de medidas para estudios de propagación HF, se puede requerir la información referente a las condiciones totales de propagación en una banda de frecuencias. Por lo tanto, puede ser conveniente hacer registros cortos con una duración aproximada de 10 minutos sobre toda la banda de alta frecuencia, a intervalos de 90 minutos, de aquellas estaciones que se sabe que trabajan 24 horas al día, seleccionadas de tal manera que los rangos de frecuencias y las distancias de interés estén bien representadas. En el caso de señales de onda celeste, también puede ser necesario tomar medidas en diversos días para tener en cuenta las variaciones cotidianas en la ionósfera.

Las constantes de tiempo del circuito detector con respecto al tiempo de medición, para medir emisiones ininterrumpidas de la portadora, se seleccionan según los resultados requeridos, con un filtro paso bajo, siguiendo el detector de la envolvente utilizado para

obtener valores promedio. Para los valores cuasi-pico se requiere de una constante de tiempo de carga corta con una constante de tiempo de descarga mucho más larga, según lo definido por CISPR 16-1 [3]. Para la medición de los valores cuasi-pico de la intensidad de campo de una emisión con portadora intermitente, el detector típico utiliza un circuito con constantes de tiempo de 1 ms de acumulación y 600 ms de decaimiento. Cuando este método no es conveniente (por ejemplo, pulsos codificados), por ser el tiempo de acumulación demasiado largo, la medida se puede hacer usando el detector de picos que tiene normalmente un tiempo de carga más corto que el recíproco del ancho de banda de la medición y un tiempo de descarga infinito con descarga automática después del tiempo de la medida. La precisión en las medidas pico y cuasi-pico pueden ser difíciles de alcanzar donde hay interferencia atmosférica presente.

Los equipos controlados por microprocesador pueden cambiar frecuencias o antenas si es lo apropiado, descargar energía residual del receptor de paso de banda, medir en una nueva frecuencia incluyendo la aplicación de factores de corrección y registrar digitalmente resultados dentro de un periodo corto de unos diez milisegundos. Este tipo de sistema es útil cuando se necesita medir varias frecuencias o cuando el muestreo de largo plazo arroja demasiados datos para ser analizados y almacenados manualmente. Los resultados, por supuesto, se almacenan en una computadora, por la gran cantidad de datos recogidos en un breve periodo de tiempo.

MÉTODOS CONOCIDOS COMO EXPEDITOS

Estos métodos se diseñan más que todo para su uso en VHF, HF y rangos de frecuencia más bajos. Una intensidad de campo dada producirá diversos niveles de señal en la salida del receptor, dependiendo de las características de la antena y del receptor. Por ejemplo, una señal clasificada por el observador como QSA 1, porque es “apenas perceptible” (Recomendación UIT-R M.1172 [13]), como se recibe en una antena no direccional con longitud efectiva corta y un receptor de poca sensibilidad y alta figura de ruido, puede producir una señal “bastante buena” con una antena altamente direccional y de alta ganancia y un mejor receptor. En este último caso, podría ser engañoso, con base en la escala QSA, clasificar la señal como recibida a menos de QSA 3.

Por lo tanto, los métodos de calibración se deben utilizar también para los “métodos expeditos”, para obtener cierto grado de reproductibilidad. Los propósitos para los cuales normalmente se utilizan las medidas expeditas (por ejemplo, proporcionar un cálculo aproximado del nivel de señal) no requieren un alto grado de exactitud, y se pueden aceptar ciertos ajustes en el sitio de la antena y criterios de calibración. Los métodos de calibración son, en esencia, iguales. Solo se reduce la exactitud.

3.3.5.7 MEDIDAS EN UN PUNTO DE MEDICIÓN FIJO

3.3.5.7.1 Mediciones instantáneas

En un punto de medición dado, situado a una distancia determinada del transmisor, se pueden tomar muestras de la distribución de la intensidad de campo. En la altura requerida se debe girar la antena en dirección al transmisor. Durante el periodo de medición, la altura y la orientación de la antena se deben variar para leer y registrar la intensidad de campo máxima.

3.3.5.7.2 Mediciones a corto y largo plazo

Las mediciones de distribución del tiempo de la intensidad de campo se pueden realizar en un sistema instalado de manera permanente, por ejemplo, una estación fija o una estación adaptada, donde se pueden llevar a cabo mediciones a corto y largo plazo. Las mediciones pueden ser continuas o repetidas en intervalos regulares permitiendo la observación de varias frecuencias. Un programa de medición ejecutado según un plan, proporciona resultados adecuados para determinar características de propagación que varían según la hora del día, las estaciones o las manchas de sol. Las mediciones de muy largo plazo requieren revisiones regulares cortas de la calibración. Las mediciones de largo plazo también pueden realizarse utilizando un equipo de medición manual junto con un colector de datos.

3.3.5.7.3 Medición de la distribución espacial de la intensidad de campo

Para una estimación altamente confiable de la intensidad de campo prevista en un punto, a una distancia dada de un transmisor, se debe conocer la distribución espacial de la intensidad de campo en el ambiente del punto de medición. Para tal fin, las mediciones deberían ser tomadas en diferentes puntos, dentro de un área demarcada. Con base en una distribución normal, el número requerido de muestras, para cierto grado de confiabilidad, depende de la desviación estándar σ , para que la intensidad de campo se localice dentro de cierto rango de valores alrededor de la intensidad de campo prevista. Encontrando los puntos mejores y peores de recepción de esa área, se pueden medir E_{max} y E_{min} . Con base en la experiencia práctica se puede obtener una estimación de la desviación estándar utilizando: $E_{max} - E_{min} = 5\sigma$. El número requerido de muestras puede ser determinado a partir de la Tabla 6 (D es la precisión alcanzada):

TABLA 6

Número requerido de muestras dependiendo de $E_{max} - E_{min}$

Nivel de confianza [%]	D [+/-dB]	$E_{max} - E_{min}$ /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

3.3.5.8 MEDICIONES A LO LARGO DE UNA RUTA

Influenciados por las condiciones de recepción local, los valores reales de la intensidad de campo pueden diferir significativamente de sus valores previstos, por lo tanto, deben comprobarse a través de mediciones, para establecer el nivel de intensidad de campo de radio en un área de cobertura extensa.

Los resultados se deben registrar junto con las coordenadas geográficas para localizar las escenas de medición y trazar los resultados que fueron recolectados en los caminos más accesibles del área en cuestión.

En vez de medir la intensidad de campo real, en ocasiones es necesario medir el voltaje de salida de una antena de usuario (la antena típica, para el servicio bajo investigación) para la evaluación de la cobertura de radio. Los sistemas de red digitales (como GSM, DCS1800, UMTS o DAB) son sensibles a los efectos de recepción reflejada. En este caso, además de medir el nivel de señal, también es necesario medir la calidad de recepción, que se realiza a través de la medición de la tasa de error de bit (BER) o la medida de respuesta a impulso del canal, que también es necesaria para determinar la evaluación del funcionamiento del sistema. Utilizando llamadas realizadas automáticamente, estas medidas se pueden hacer en redes digitales operacionales sin ningún efecto perjudicial.

Para propósitos de mediciones a lo largo de una ruta es necesaria una transmisión continua.

3.3.5.8.1 Resultado de la medición móvil de la intensidad de campo

Debido al efecto de señales reflejadas, la intensidad de campo a lo largo de una ruta muestra una fluctuación severa. El resultado de una sola medida puede coincidir con el va-

lor de reflexión mínimo o máximo y también es influenciado por la altura elegida para la antena de recepción, la estación, el tiempo, la vegetación y la humedad en los alrededores, arrojando en consecuencia un resultado falso.

Teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, los resultados reproducibles de la evaluación de la intensidad de campo se pueden calcular a partir de un gran número de lecturas de los datos en bruto, por medio de su procesamiento estadístico.

3.3.5.8.2 Velocidad del vehículo

La velocidad del vehículo debe ser apropiada para la longitud de onda, de acuerdo con el método de Lee. Este método fue recomendado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones (CEPT), y desarrollado para una distribución Rayleigh en la banda de frecuencia ultra alta (UHF) para obtener los valores medios locales de la señal recibida a lo largo de una ruta, del número de señales evaluadas simultáneamente con diferentes frecuencias y la aplicación del tiempo de medición más corto del receptor de evaluación.

$$v /(\text{km/h}) = \frac{864}{(f/\text{MHz}) \cdot (t_r/\text{s})} \quad (12)$$

donde t_r es el tiempo mínimo dado por las especificaciones del receptor para retomar una sola frecuencia.

3.3.5.8.3 El número necesario de puntos de medición y la promediación de intervalos

Para la evaluación estadística (método de Lee), el número de puntos de muestra se debe elegir de tal manera que los resultados muestren el lento proceso de cambio en la intensidad de campo (efecto de desvanecimiento a largo plazo) y deben también reflejar, más o menos, la individualidad local (instantánea - efecto de desvanecimiento a corto plazo) de la intensidad de campo.

Para obtener un intervalo confiable de alrededor de 1dB del valor medio real, las muestras de los puntos de prueba se deben elegir cada 0.8λ (longitud de onda), sobre un intervalo promedio de 40λ (50 valores medidos dentro de 40 longitudes de onda).

3.3.5.8.4 Antenas de medición

Durante las mediciones, la altura seleccionada para la antena de prueba debe ser de 1.53 m. El resultado se considerará como si se hubiese tomado a una altura de 3 m.

Ya que la señal recibida viene de diferentes ángulos hacia la antena de prueba, el efecto de diagrama de la antena debe saberse con el resultado de la prueba de intensidad de campo.

El factor de precisión de la antena (k) debe estar dentro de 1 dB.

La desviación entre el diagrama de radiación horizontal de la antena de medición y un diagrama no direccional no debe exceder 3 dB.

3.3.5.8.5 Sistemas de navegación y posicionamiento

SISTEMA DEAD RECKONING

La distancia del punto de partida es calculada con la ayuda de un transductor de distancia a pulso conectado a una rueda no motorizada del vehículo de prueba, mientras que el giroscopio mecánico proporciona la información del rumbo. La exactitud de la ubicación depende de la precisión del registro del punto de partida y de la distancia cubierta por el vehículo de prueba.

SISTEMA GPS

Un SPS comercializado, GPS, puede dar solamente datos exactos de la posición desde unos 10 a 100 m, pero no funciona correctamente en túneles, calles estrechas ni valles.

Una precisión de 100 o 200 m es suficiente al evaluar la cobertura de radiodifusión de una estación de TV o sonora.

La evaluación de un sistema digital microcelular en una zona urbana requiere que la información sobre la posición dentro de varios metros sea exacta. En estos casos se deben utilizar sistemas diferenciales de posicionamiento.

SISTEMA DE NAVEGACIÓN COMPLEJO

Este sistema es una combinación de los sistemas antes mencionados. Sin necesidad de la intervención de un operador manual, estos sistemas de navegación proporcionan la posición y datos del tiempo, rumbo e información del punto del trayecto.

3.3.5.8.6 Recopilación de resultados de medición con reducción de datos

Mediante el procesamiento estadístico, este método permite reducir considerablemente la cantidad de información registrada en bruto.

VALORES PROMEDIADOS

Algunos de los receptores de prueba pueden realizar una clasificación interna de los resultados de la prueba a intervalos predefinidos por el usuario. El usuario puede seleccionar los intervalos de evaluación hasta de unas 10.000 muestras medidas, pero cada intervalo debe contener por lo menos 100 valores.

Solamente los valores aritméticos promediados del número predefinido de resultados de la prueba se almacenan en el disco duro y se indican en el mapa final que muestra la cobertura de radio.

CLASIFICACIÓN DE RESULTADOS SEGÚN LA PROBABILIDAD DE EXCEDER NIVEL

Durante las medidas, los resultados se clasifican según su probabilidad de exceder, entre 1 y 99%. Estos porcentajes representan la probabilidad de sobrepasar el nivel aplicable de la intensidad de campo. Sus valores típicos son 1, 10, 50, 90 y el 99%. El valor medio, el 50%, es el preferido para los estudios de propagación. Merece la atención que los receptores requieren algunos ms para la evaluación de la clasificación, así que durante este tiempo se ignoran los pulsos del gatillo y, por lo tanto, no se obtienen nuevas medidas.

3.3.5.8.7 Presentación de datos

Utilizando el monitor incorporado en el controlador regulador de proceso, el monitor a color de un PC externo, la impresora o el plotter, debe ser posible obtener las siguientes representaciones:

REPRESENTACIÓN TABULAR DE DATOS EN BRUTO

Desventaja: demasiado volumen de datos. Los resultados individuales son irrepetibles.

Ventaja: proporciona información en forma detallada sobre efectos locales de desvanecimiento. Los resultados se pueden convertir en cualquier tipo de visualización fácil, mediante procesos matemáticos o estadísticos.

PLOTEO EN COORDENADAS CARTESIANAS

La representación gráfica de los datos procesados de la intensidad de campo se plotea en coordenadas cartesianas vs. distancia con indicaciones de estos valores medios calculados.

Desventaja: es difícil relacionar los resultados con los lugares exactos de las mediciones.

Ventaja: proporciona un resultado que se puede ver de manera fácil y rápida en cuanto a la distribución y localizaciones por debajo de un nivel de umbral determinado de la intensidad de campo.

MAPEO

Se muestra una línea multicolor que representa los niveles procesados de la intensidad de campo (por ejemplo, con una escala de 10 dB μ V/m) o las probabilidades de exceder nivel entre 1 y 99% en la ruta del mapa.

La escala del mapa seleccionado debe corresponder al tamaño del área cubierta por la señal de radio bajo investigación y a la resolución requerida para los resultados procesados de la intensidad de campo. Debido a la escala del mapa, los intervalos representados pueden incluir los múltiplos de los intervalos promediados. La resolución del resultado presentado debe ser elegida de tal manera que se puedan trazar particularidades locales sin que la línea resaltada sea demasiado colorida.

Si hay la necesidad de representar los intervalos promediados con una resolución más alta (por ejemplo, al representar resultados en microcélulas), el sistema debe ser capaz de enfocar el mapa como se requiera.

Si durante las mediciones se colocan dos series de datos simultáneamente (por ejemplo, intensidad de campo y BER) es conveniente representarlas juntas, por medio de dos líneas paralelas coloreadas a lo largo de los caminos trazados en el mapa.

Desventaja: la resolución del intervalo trazado puede ser mayor que el intervalo procesado. Por lo tanto, puede sobresalir sobre las características locales de la intensidad de campo.

Ventaja: los resultados de la prueba se pueden juntar al punto exacto de las mediciones. Proporciona resultados que se pueden ver en forma rápida y fácil, en cuanto a la distribución y localizaciones por debajo de un nivel de umbral determinado de la intensidad de campo.

3.3.5.9 COMPARACIÓN DE DATOS MEDIDOS Y CALCULADOS

La P.I.R.E. del emisor se utiliza para computar la cobertura de la estación. Los datos monitoreados pueden utilizarse para:

- Estimar la P.I.R.E.
- Evaluar y verificar el modelo de propagación y el DTM.

Los datos calculados pueden utilizarse para:

- Estimar la calibración de la amplitud del sistema de recepción: antena, cables, receptor.
- Evaluar la calibración.

3.3.5.9.1 Comparación de la intensidad de campo prevista y medida en la radiodifusión FM

Las señales de radiodifusión varían con el tiempo y con pequeñas diferencias de localización. Esta variabilidad se incorpora a muchos métodos de predicción de la propagación. En la mayoría de los casos, las mediciones de monitoreo se realizan desde una localización y por un periodo de tiempo que puede resultar corto para definir completamente la variabilidad del tiempo. En consecuencia, las medidas deben ser consideradas cuidadosamente al compararlas con las predicciones. El ejemplo aquí es para una situación donde la variabilidad puede ser pequeña y las comparaciones se pueden hacer con confianza. Pero hay muchos casos en los cuales la variación será mayor y las comparaciones se deben hacer estudiando detalladamente las diferencias observadas.

El Acuerdo Regional (Ginebra, 1984) contiene las bases de la planificación de las estaciones de radiodifusión FM en la Región 1. En este plan se puede encontrar cuáles países pueden utilizar qué frecuencias con base en parámetros tales como potencia, altura de la antena, diagrama de antena, polarización, etc. El Registro Internacional de Frecuencias (MIFR) refleja la situación real en el BRIFIC DVD quincenal de la UIT.

Es tarea de las administraciones nacionales, por medio de su servicio de monitoreo, comprobar que estas estaciones de radiodifusión cumplan con los parámetros asignados. Esto se puede hacer por medio de inspecciones físicas periódicas de todas las estaciones, por ejemplo, una vez al año (o cada dos años). Para ahorrar tiempo y costos, un sistema de monitoreo de radiodifusión sonora mide las emisoras desde una o más estaciones de monitoreo fijas y compara los resultados con los valores previstos. Si los resultados de esta comparación indican que la potencia emitida por la estación es demasiado alta (o la antena se monta más arriba de lo permitido) se puede realizar una inspección.

3.3.5.9.2 Software de planificación y bases de datos

A menudo, la administración de frecuencias utiliza software para calcular los parámetros necesarios para la planificación de sus estaciones o revisar peticiones de coordinación de países vecinos. El software de planificación puede también producir el llamado escaneo de frecuencias. En este caso, el programa escanea la base de datos que contiene la información de la banda 87.5 a 108.0 MHz y genera automáticamente una lista para una localización dada que contiene los 204 canales, con la intensidad de campo prevista para todas las estaciones que trabajan en esa frecuencia. El número de estaciones en esta lista, con la intensidad de

campo calculado en una frecuencia determinada, depende del tamaño de la base de datos utilizada y de un nivel de intensidad de campo predefinido que debe ser considerado.

3.3.5.9.3 Predicción de la intensidad de campo desde estaciones de monitoreo remoto

Como ejemplo, un país utiliza una red de 12 estaciones accionadas por control remoto. Para cada una de las localizaciones de estas estaciones de monitoreo remoto (RM), la herramienta de planificación puede arrojar una lista de valores previstos de la intensidad de campo para los 204 canales FM BC. Solamente se necesita la estación más fuerte en cada canal. Sin embargo, lo indicado es contar con una lista más extensa, porque la estación con la intensidad de campo calculada más fuerte puede trabajar con potencia reducida, de manera que se puedan recibir otras estaciones. Las predicciones para este ejemplo fueron hechas usando el modelo de propagación en la Recomendación Sustituida UIT-R P.370-7. Las predicciones futuras se pueden hacer, por ejemplo, utilizando la Recomendación UIT-R P.1546-4 [15].

3.3.5.9.4 Intensidad de la señal medida desde estaciones de monitoreo remoto

Todas las estaciones RM consisten de dos receptores que usan la misma antena por medio de un divisor. El receptor uno escanea la banda de frecuencia en todas las estaciones secuencialmente. Los resultados se muestran en 12 ventanas, en dos pantallas de 21 pulgadas. El segundo receptor se puede utilizar para identificar las estaciones visualizadas en la pantalla como resultado de las medidas del primer receptor. Cada 10 segundos se hace un escaneo de la banda entera. Los valores de la intensidad de las señales medidas de todos los pasos se almacenan después de cada escaneo. El sistema realiza mediciones continuas durante 24 h (pero podría también hacerlo menos tiempo, por ejemplo, durante el día solamente).

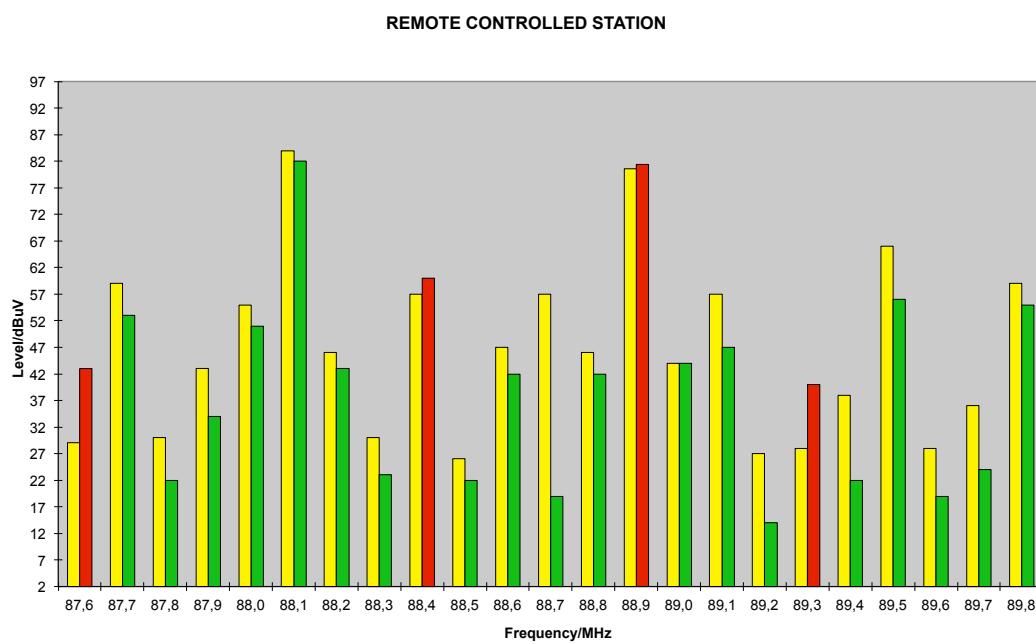
La separación del canal en FM es de 100 kHz. Así pues, para procesar los valores de la intensidad de las señales medidas para compararlos con la intensidad del campo prevista, solamente se necesitan aquellas de los canales exactos (87.6, 87.7, 87.8 MHz, etc.). De cada canal se toma el valor promedio sobre las 24 h medidas, reduciendo al mínimo los efectos de cambio en la propagación.

3.3.5.9.5 Comparación de valores previstos y medidos

Para cada una de las 12 localizaciones están disponibles los valores promedio previstos y medidos. Estos valores se pueden comparar automáticamente entre sí y visualizarse en una pantalla en porciones de, por ejemplo, 23 canales, como lo ilustra la Figura 35.

FIGURA 35

*Niveles previstos (amarillo) y niveles medidos (verde o rojo)
entre 87,6 y 89,9 MHz de una estación RM*



Las barras verdes (niveles medidos) cambian a rojo cuando el valor medido sea igual o excede el valor que se predijo. A partir de aquí, es posible hacer un acercamiento (zoom) para ver el transmisor de interés. También está disponible la información detallada de mediciones anteriores de la estación de interés. Se puede considerar enviar un ingeniero de inspección (o varios) a aquellas estaciones que excedan los valores previstos. Las mediciones descritas se deben repetir regularmente con el fin de utilizarlas para suministrar información adicional, como, por ejemplo:

- Producir presentaciones que contengan tendencias históricas sobre cada canal por localización, ya sea gráficamente o mediante texto común.
- Mostrar los valores medidos a lo largo del tiempo mediante un diagrama de distribución.
- Calcular todas las medidas que excedan en cada una de las estaciones de monitoreo remoto.
- Detectar automáticamente estaciones no autorizadas por medida/estación y producir resúmenes sobre las tendencias de uso ilegal. De esta manera, se pueden representar los efectos de los esfuerzos en la aplicación de la normatividad.

- Llevar a cabo evaluaciones de los diagramas de antena de estaciones BC, mediante la comparación de las intensidades de campo previstas de una estación de radiodifusión medida desde una o más estaciones RM (la mayor cantidad posible), desde diferentes direcciones.

3.3.5.10 EVALUACIÓN, PROCESAMIENTO Y DOCUMENTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE MEDICIÓN

3.3.5.10.1 Definición de los parámetros estadísticos de intensidad de campo y PFD

El método utilizado para derivar información a partir de los registros, depende principalmente del propósito para el cual se utilizará la información. En los estudios de propagación es común determinar el nivel de exceso de la señal durante un porcentaje de tiempo, o el valor mínimo o máximo a lo largo de un periodo de tiempo predeterminado.

Por ejemplo:

- El valor de la media (el valor excedido el 50% del tiempo).
- El valor de 90%.
- El valor de 10%.
- El nivel más alto de la señal.
- El valor más bajo de la señal.

El valor promedio ($\text{dB}\pm\text{V/m}$) es una forma deseable de presentar las mediciones en frecuencias discretas para estudios de propagación. Aunque los periodos de 60 minutos son muy utilizados (en HF) como periodo de tiempo básico para el análisis, pueden ser preferibles periodos más cortos (por ejemplo, 1 min, 10 min o varias horas) en instancias específicas. En las frecuencias más bajas, especialmente por debajo de 30MHz, donde hay gran variación en el nivel de la señal dependiendo del momento del día, como ocurre en las bandas de radiodifusión MF y HF, se puede realizar un análisis en periodos de una hora concentrados en el amanecer y el atardecer, en el punto medio de la trayectoria entre el transmisor y el receptor. El uso de un computador para este propósito simplifica y acelera el análisis.

Con frecuencia, el nivel de la intensidad de campo en $\text{dB}\mu\text{V/m}$ muestra la distribución Gausiana (normal) dependiendo tanto del tiempo como del espacio. Para otras distribuciones ver la Recomendación UIT-R P.1057-2[14]. La distribución de los valores de las medidas de intensidad de campo, cuando se expresan en unidades lineares (por ejemplo, V/m , mV/m o $\mu\text{V/m}$), con frecuencia siguen una distribución log normal. Cuando esta información se convierte a dB, la distribución sigue luego una distribución Gausiana normal y se requieren diferentes fórmulas. Para este caso de distribución Gausiana se aplican las siguientes definiciones:

Variación de la intensidad de campo

Varianza empírica corregida

$$s^*{}^2 = \frac{n}{n-1} s^2 \quad \text{dB}$$

Donde:

n : número de muestras

s^2 : valor empírico

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2 \quad \text{dB} \quad (13)$$

Donde:

e_i : valor de muestreo de la intensidad del campo (dB(μ V/m))

\bar{e} : media aritmética de las muestras (dB(μ V/m))

3.3.5.10.2 Evaluación de la dependencia por localización de la intensidad de campo

En un área situada a una distancia L del transmisor, donde hay un suficiente número de muestras, si se conoce la media de la intensidad de campo (media aritmética \bar{e} de las muestras) y la desviación estándar por la locación σ_L , se puede derivar la función de distribución $N(\bar{e}, \sigma_L)$. Para otros detalles ver las recomendaciones UIT-R P.1546-4 [15] y UIT-R P.845-3 [11].

3.3.5.10.3 Evaluación de la dependencia por tiempo de la intensidad de campo

Durante un periodo de tiempo relativamente largo, donde hay un suficiente número de muestras, si se conoce el valor medio de la intensidad de campo (media aritmética de las muestras \bar{e}) y la desviación estándar por tiempo σ_t , se puede derivar la función de distribución $N(\bar{e}, \sigma_t)$.

Para otros detalles ver las recomendaciones UIT-R P.1546-4 [15] y UIT-R P.845-3 [11].

3.3.5.10.4 Evaluación de la dependencia por tiempo y espacio de la intensidad de campo

Con el valor reducido de la desviación estándar por localización y la variación por tiempo, se puede determinar la función de distribución $N(L, t)$.

$$\sigma_{L,t} = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_t^2} \quad \text{dB}$$

Para otros detalles ver las recomendaciones UIT-R P.1546-4 [15] y UIT-R P.845-3 [11].

3.3.5.10.5 Ejemplo lista de comprobación para coordinación de datos

Un acuerdo de cooperación europeo [Acuerdo HCM, 2005 [16]] ha indicado, entre otros, el siguiente procedimiento de medición en caso de existir un desacuerdo respecto a los resultados de la evaluación relacionados con una petición específica de coordinación, para facilitar el fortalecimiento de redes existentes y para los casos de interferencia perjudicial entre las estaciones en las regiones fronterizas en los rangos VHF/UHF. Los resultados de las medidas de la intensidad de campo deben ser intercambiados y, por lo tanto, se estandarizan los procedimientos de medición.

Los sitios para las mediciones deben ser seleccionados de tal manera que no hayan objetos reflectores (o tan pocos como sea posible) dentro del límite de 10 veces la longitud de onda y debe ser posible el contacto visual con la antena transmisora.

Dependiendo de las condiciones de medida, se deben llevar a cabo varios registros de la medición, incluyendo la configuración, de modo que los resultados sean reproducibles. Se debe especificar todo el equipo.

En caso de mediciones desde puntos fijos, la altura de la antena de medición con respecto al suelo debe variarse entre 3 y 10 m. Dentro de este rango, se deberá registrar el valor más alto de la intensidad de campo, así como la altura de la antena a la cual fue medido este valor. Este valor debe ser considerado como un valor de la intensidad de campo a una altura de antena de 10 m.

El registro de cada una de las mediciones y de su configuración debe almacenarse en una base de datos. Todos los datos relevantes para la explicación de los resultados de las mediciones tienen que ser registrados para cálculos posteriores.

Datos relevantes de la medición (en casos de interferencia perjudicial):

Asignación interferente:

- Administración
- Frecuencia (MHz)
- Supuesta localización o dirección de la asignación interferente
- Designación de la emisión
- Intensidad de campo medida (dB(μ V/m))

Asignación interferida:

- Número de referencia de la administración
- Frecuencia (MHz)
- Nombre de la localización
- Coordenadas de la localización (grados/min/s)
- Clase de estación

Tipo de medida:

- Punto fijo, número de puntos
- Medida en el periodo de tiempo más largo
- Móvil

Datos de la medida:

- Número de la medida
- Frecuencia medida
- Ancho de banda medido
- Fecha (DD/MM/YY)
- Periodo (desde/hasta) (HH/MM a HH/MM)
- Nombre de la localización
- Localización geográfica (grados/min/s)
- Altura de la localización (m sobre el nivel del mar)
- Altura de la antena de medición (m con respecto al suelo)
- Polarización de la antena de medición (h/v)
- Antena del cliente p si p no
- Descripción de la trayectoria de transmisión
- Condiciones de propagación (tiempo)
- Observaciones: (ancho de banda IF, modulación, tasa de errores de bit, si se requiere)

Resultados de la medida (en caso de medidas durante un periodo de tiempo mayor):

- Valor cuasi-máximo (10%): (dB(μV/m))
- Valor cuasi-mínimo (90%): (dB(μV/m))
- Valor medido (medio): (dB(μV/m))

3.3.5.11 TÉCNICA FFT PARA MEDICIONES DE LA INTENSIDAD DE CAMPO

La técnica FFT también puede ser utilizada para medir la intensidad de campo de señales que tienen una separación de frecuencia muy pequeña (por ejemplo, en bandas AM en los casos de emisión en co-canal). Sin embargo, cuando la técnica se utiliza para mediciones de la intensidad de campo, el control de aumento automático y/o los circuitos de compresión logarítmicos deben apagarse antes de calibrar el receptor de medición.

La precisión obtenible incluye errores sistemáticos y estocásticos. La respuesta a la amplitud de un detector síncrono bien diseñado no contiene ningún error sistemático.

Los medidores análogos de nivel selectivo y los analizadores de espectro pueden tener errores sistemáticos causados por la forma de la curva de selectividad, la tasa de barrido y la respuesta del detector. Los errores reales dependerán del diseño particular y del método de aplicación.

Los analizadores de señal FFT tienen un error de amplitud inherente, pero fiable, causado por el tiempo finito del intervalo de muestreo. La amplitud del error depende de la tasa de frecuencia de muestreo del canal digital a la frecuencia de la señal, así como del factor de ponderación real usado en el equipo. En el peor de los casos, cuando la FFT procesa el error de la amplitud, utilizando la carga de Hamming, este no excede 1.5 dB. Este error sistemático se puede compensar fácilmente, durante el procesamiento de las señales, por medio del programa de software.

Obsérvese que el receptor es sintonizado a una frecuencia fija mientras que el analizador de señal escanea la banda de paso del receptor, cualquier ondulación en la respuesta en la banda de paso IF se convierte en una fuente de error.

3.3.5.12 CALIBRACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS Y DE LAS ANTENAS DE MEDICIÓN

La calibración de los instrumentos para medir la intensidad de campo incluye normalmente la calibración por separado del receptor de medición y de la antena de medición, incluyendo el cable de transmisión. Solamente en versiones anteriores de medidores manuales de intensidad de campo HF, la antena formaba parte del circuito de sintonización y era incluida en el procedimiento de calibración.

La frecuencia de calibración es dependiente del equipo que se utiliza y del ambiente donde se está utilizando, por ejemplo, la recalibración de antena puede ser requerida más frecuentemente para la operación móvil o para las localizaciones con cambios en la conductividad de la tierra o las estaciones.

3.3.5.12.1 Calibración de los receptores de medición

Si se utiliza un equipo receptor que no proporciona calibración interna, la calibración se puede hacer con un generador de señal CW estándar sintonizable al rango de frecuencia deseada, un generador de impulso o un generador de ruido aleatorio de características de salida conocidas y estables y que tenga una impedancia de salida igual a la impedancia de entrada del receptor con el cual va a ser utilizado. El nivel de salida de generadores de señal CW se puede calibrar por medio de los medidores de potencia RF. Para la adaptación de la potencia de salida hasta el nivel de entrada del receptor se recomienda el uso de atenuadores calibrados.

La calibración no es generalmente el resultado de una sola medición, sino de una serie de mediciones, porque las características del instrumento a ser calibrado son siempre funciones de frecuencia y niveles de señal. Los medidores típicos de intensidad de campo tienen varios rangos de frecuencia ajustados y un rango de amplitud de aproximadamente 100 dB. Por lo tanto, la calibración de tal instrumento con base solamente en algunas muestras de frecuencia y niveles de señal puede dar lugar a errores graves del instrumento. La captación de componentes a través de los cables de energía, a causa de un blindaje pobre, discontinuidad en el gabinete de protección, etc., pueden reducir la precisión de las lecturas en algunos casos a los más bajos niveles de medición, especialmente por debajo de mV/m y en algunos casos a valores elevados de la intensidad de campo medida especialmente por encima de 1 V/m.

En equipo automático moderno, generalmente se incorpora una fuente de calibración al medidor del receptor de medición de la intensidad de campo y se proporcionan procedimientos automáticos que permiten la calibración del receptor de medición sobre su frecuencia completa para todos los receptores de ancho de banda y funciones del detector. En estos casos se recomienda una verificación regular de la referencia de calibración incorporada, por ejemplo, cada dos años. El equipo moderno controlado por microprocesador también utiliza las funciones incorporadas de autoprueba, una detección temprana de errores de hardware, evitando así la colección de datos erróneos durante un largo tiempo.

3.3.5.12.2 Calibración de las antenas de medición

La porción del factor de la calibración, determinado por las características de sistema de la antena (es decir, ganancia, junto con pérdidas de línea y transformador), se conoce como factor de antena (véase la sección 3.3.5.2.2). El factor de calibración, generalmente, varía con frecuencia. Los métodos de calibración se pueden clasificar bajo tres categorías básicas: método de campo estándar, método estándar de antena y método estándar de distancia o de sitio. Todos los métodos deben proporcionar factores de antena válidos para el espacio libre bajo condiciones de campo lejano. Es importante que las antenas estén monta-

das para la medición, de modo que las características de la antena no sean influenciadas por sus mástiles, los cables, otras antenas u objetos reflectores en las proximidades.

3.3.5.12.2.1 *Método de campo estándar (calibración directa)*

El método de campo estándar es el método más básico de calibración. Se deriva directamente de la ecuación para la definición del factor antena. La antena se expone a un campo electromagnético cuya intensidad se conoce exactamente. La intensidad de campo se puede determinar mediante cálculos basados en la corriente medida en una antena transmisora de dimensiones conocidas y con distribución actual. Por razones prácticas, el uso de este método se limita a la calibración de las antenas espira, puesto que, para otros tipos de antenas, hay otros métodos que dan resultados más precisos.

3.3.5.12.2.2 *Calibración indirecta de antenas*

La calibración directa, generalmente, no se emplea para calibrar instrumentos que tienen antenas cortas de varilla, puesto que sería necesario establecer campos uniformes conocidos de manera exacta dentro de una gran área de evaluación, ocupada por el instrumento y su antena. En este método, el factor de calibración se calcula a partir de las características computadas o medidas de la antena y de las características medidas del instrumento. El radiador pasivo se quita del equipo de medida de intensidad de campo y es sustituido por un generador de señal calibrado estándar que tiene una impedancia sustancialmente igual a la de la antena. Una antena artificial apropiada se utiliza, generalmente, para calibrar el equipo restante (dispositivo de ajuste de impedancias más el receptor de medición) como un voltímetro de radiofrecuencia (o un medidor de potencia) contra el generador de señal estándar.

Un factor de antena se computa para cada frecuencia a partir de las dimensiones y de la distribución actual de la antena, de considerar la antena como una apertura o de la ganancia medida de la antena. Si se utiliza un cable de transmisión, puede ser conveniente en algunos casos considerarlo como parte del receptor y conectarlo al generador de calibración, teniendo en cuenta la pérdida de cable, evitando así la necesidad de determinarla por separado. Un medidor de intensidad de campo con una antena espira blindada se puede usar para comprobar la calibración de la antena de varilla en el campo, sin perturbaciones, distante de una estación de radio.

3.3.5.12.2.3 *Método de antena estándar (método de substitución)*

En el método de antena estándar se mide una onda plana de intensidad de campo utilizando una antena cuyo factor se conozca con exactitud (antena con ganancia estándar, por ejemplo, dipolo estándar), el cual es reemplazado (sustituido) por la antena que se calibra-

rá. A partir de la diferencia entre los niveles de voltaje de entrada del receptor de la antena se puede determinar el factor de antena en dB. Los factores de antena de las antenas con ganancia estándar son calculados a partir de sus dimensiones y de las propiedades medidas de los elementos adaptables (por ejemplo, baluns) o se determinan utilizando un procedimiento exacto de calibración. Comparado con el método descrito en la sección 3.3.5.12.2.4, el método de sustitución tiene la desventaja de que el error del factor de la antena contribuye al error total del método.

Otros errores pueden resultar de las diferentes formas del aumento de la antena estándar y de la antena que se calibrará cuando el campo no es una onda plana ideal. Los dipolos media-onda usados como el aumento de antenas estándar tienen, además, la desventaja de tener que sintonizarse mecánicamente en cada nueva frecuencia.

3.3.5.12.2.4 Método de distancia estándar o método de sitio estándar

Cuando se aplica el método de distancia estándar, se reduce la calibración de antena a una medida exacta de la atenuación entre dos antenas idénticas, cuyo resultado es comparado con el valor calculado de la atenuación del sitio. De ser posible, para la determinación del factor de espacio libre de la antena se debe utilizar un montaje de calibración que arroje los resultados más exactos. En este caso, las dos antenas serán montadas de tal manera que las reflexiones de objetos circundantes no sean significativas. Esto, normalmente, es posible para las antenas directivas.

Si las condiciones del espacio libre no pueden ser establecidas, se puede utilizar, por ejemplo, un método de reflexión, donde las dos antenas se montan sobre un plano de tierra reflector y la atenuación es comparada con el valor teórico, asumiendo la suma de la onda directa reflejada en la localización de la antena receptora. Este método tiene que ser aplicado con gran cuidado, puesto que el acoplamiento entre la antena y el plano de tierra puede influenciar el factor de la antena. Por lo tanto, la distancia entre las antenas, entre cada antena y el plano de tierra, debe ser lo suficientemente amplia para que los efectos de acoplamiento mutuo sean insignificantes. Se debe prestar especial atención a la localización de los centros de la fase de las antenas. Esta fuente de error potencial puede eliminarse considerando de manera adecuada el efecto sobre la atenuación medida para calcular la atenuación del sitio.

En cuanto a la evaluación de los resultados de la distancia del método estándar, se debe hacer una distinción entre el método de las dos antenas y el método de tres antenas. Si solamente se ejecuta una medición de la atenuación con dos antenas, solo se puede determinar, realmente, la suma de las ganancias de ambas antenas en dB. El factor de la antena que se va a calcular solo se puede atribuir a una antena cuando se conocen de antemano los datos de la otra antena. Esta limitación se puede evitar utilizando el método de tres antenas,

en el que se ejecutan tres medidas de atenuación, con tres antenas combinadas a tres pares intercambiados cíclicamente ($a+b$, $b+c$, $c+a$).

Solucionando un conjunto de ecuaciones con tres variables desconocidas, se puede resolver la ganancia (un factor de antena o área efectiva) de cada antena individual.

3.3.5.12.2.5 Cómputo del factor de antena a partir de las dimensiones y distribución actual

El cómputo de un factor de antena se facilita mediante tipos de antena simples. Así, por ejemplo, se asume que una antena de varilla corta vertical fina (más corta que 0.1 de longitud de onda), montada sobre un plano de tierra extenso, tiene una distribución linear actual, haciendo de su longitud útil la mitad de su longitud física. Una simulación aproximada de su impedancia se puede lograr por un condensador en serie conectado entre el generador de señal estándar y la entrada del medidor. Un segundo ejemplo es la antena dipolo de media-onda delgada, con distribución actual sinusoidal, que se utiliza con frecuencia para propósitos de calibración. Esta antena tiene una longitud útil computada de λ/π y una resistencia de radiación en espacio libre de 73.3Ω . Un dipolo cilíndrico práctico se debe cortar a un tamaño perceptiblemente más corto que la mitad de la longitud de onda, para que se logre la resonancia. Su resistencia de radiación y longitud útil son menores que los valores correspondientes para una antena infinitamente delgada. Estas diferencias se deben al efecto del grosor finito en la distribución actual.

Sin embargo, el patrón direccional de un dipolo práctico no se diferencia mucho del dipolo teórico fino, y la conclusión de esta observación es que su ganancia y remanente de potencia permanecen a los valores de la antena teórica fina. Estas consideraciones indican que un dipolo práctico puede ser considerado equivalente a la antena teórica fina más un transformador, para sustentar el cambio en resistencia de radiación. El balun es un transformador adicional, cuyo uso puede introducir errores significativos, a menos que se optimicen sus características de ajuste de impedancias y se tome en cuenta su pérdida.

Los dipolos de precisión disponibles comercialmente tienen atenuadores adicionales para estabilizar la carga de impedancia del dipolo, lo cual constituye una ventaja para la calibración de la antena. El método de los momentos (MoM) computa el factor de la antena cuando se conocen sus dimensiones. Se debe tener cuidado en aplicar el MoM a este problema, y es deseable verificar las mediciones realizadas, cuando sea posible.

3.3.5.12.3 Calibración de instalaciones fijas de grabación

Para alcanzar las exactitudes deseables dadas en la Recomendación UIT-R SM.378-7 [2], la calibración inicial de estas instalaciones se puede hacer mediante la comparación contra un medidor calibrado de intensidad de campo con exactitud conocida y bajo condiciones controladas. Tal calibración será válida siempre y cuando sigan existiendo todas las

condiciones bajo las cuales se realizó la calibración inicial. Por lo tanto, los cambios significativos en antenas, líneas de transmisión o dispositivos de ajuste de impedancias, o en el sitio mismo (por ejemplo, adición o retiro de antenas próximas u otros conductores u obstrucciones aéreas), normalmente requerirán la recalibración de la instalación.

Además, las revisiones periódicas a la calibración (normalmente diarias) se deben hacer contra la fuente de calibración local (generador de señal estándar, generador de ruido o fuente de calibración incorporada). Las estaciones de radiodifusión local se pueden utilizar con cuidado como otra revisión (comprobación) de la calibración. Si las medidas van a llevarse a cabo en un rango extendido de frecuencias, se puede preparar una curva de calibración basada en medidas de comparación en intervalos frecuentes dentro del rango de frecuencias de interés. Al realizar estas comparaciones, la antena de la estación de monitoreo y la antena del medidor de la intensidad de campo deben tener la misma polarización (por ejemplo, ambas antenas ajustadas para la recepción de emisiones polarizadas verticalmente o ambas ajustadas para las emisiones horizontalmente polarizadas).

Para las medidas por debajo de 30 MHz, donde se utiliza un medidor de intensidad de campo con una antena espira blindada, para calibrar una instalación de grabación que tiene una antena monopolo vertical, normalmente se obtienen resultados satisfactorios cuando se utiliza un medidor de intensidad de campo a un nivel conveniente y cercano a la tierra (por ejemplo, más o menos 1 m). Para las frecuencias por encima de 30 MHz, donde se utilizan normalmente dipolos u otras antenas resonantes y donde la tierra no juega un papel importante en la propagación, es deseable que la antena del medidor de intensidad del campo esté instalada a la misma altura que la antena de grabación (generalmente, alrededor de 10 m por encima de la tierra). Para evitar la interacción entre la antena del medidor de la intensidad de campo y la antena de grabación, es mejor quitar la antena de grabación temporalmente y colocar la antena del medidor de intensidad de campo en la misma localización, para obtener la intensidad de campo de referencia; luego se quita la antena del medidor de intensidad de campo y se reinstala la antena de grabación.

Esto presupone que la fuente de la señal que está siendo utilizada, se encuentra a un nivel constante durante el procedimiento de calibración. Si se debe utilizar una señal de intensidad diferente, se deben realizar mediciones simultáneas con las dos antenas cerca la una de la otra, pero dejando suficiente espacio, para causar una interacción mínima entre las dos antenas.

3.3.6 **Medidas del ancho de banda**

3.3.6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

3.3.6.1.1 Influencias del ancho de banda sobre los servicios de radiocomunicaciones

Los diferentes esquemas de modulación usados por los distintos servicios de radiocomunicaciones están produciendo los componentes espectrales de diferentes frecuencias.

Para lograr un cierto grado de calidad en el servicio es necesario reproducir la distribución espectral de la señal emitida en el sitio de recepción con cierto grado de exactitud. Entre mayores sean las diferencias entre el espectro original y el que se reproduzca, más defectuosa es la calidad del servicio que se puede alcanzar.

Por otra parte, los componentes espectrales provenientes de otras fuentes distintas a la señal deseada causarán también la degradación de la calidad, ya que distorsionan la distribución espectral original. Para poder formular los requisitos en términos de cantidades físicas, se debe definir correctamente el ancho de banda.

3.3.6.1.2 Definiciones del ancho de banda

3.3.6.1.2.1 *Ancho de banda necesario*

Según el artículo 1, No. 1.152 del RR [17], la definición que se utiliza actualmente es la siguiente:

“*Anchura de banda necesaria*: Para una clase de emisión dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones especificadas”.⁶

Nota 1: El ancho de banda necesario se puede calcular usando las fórmulas dadas en la Recomendación UIT-R SM.328-11 [18] para las diversas clases de emisión.

Nota 2: La emisión de un transmisor por fuera del ancho de banda necesario se conoce como emisión no deseada y consiste en dos partes (véase el artículo 1, No. 1.146 del RR [17]):

“*Emisión fuera de banda*: Emisión en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, resultante del proceso de modulación, excluyendo las emisiones no esenciales”. La Recomendación UIT-R SM.328-11 [18] describe las curvas limítrofes que tienen que ver con el espectro por fuera de banda para las diversas clases de emisiones.

⁶ Para efectos de este texto, *ancho de banda* tiene la misma connotación que *anchura de banda*. La anchura de banda necesaria está definida en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.

“Emisión espuria (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 (véase el artículo 1, No. 1.145 del RR [17]).

Nota 3: Las frecuencias pueden superponerse (superposición frecuencial) a causa de las emisiones fuera de banda y las emisiones espurias. Por lo tanto, se introducen dos definiciones más:

El dominio fuera de banda (de una emisión) es “el rango de frecuencias que se encuentra inmediatamente por fuera del ancho de banda necesario pero excluyendo el dominio espurio, en el cual generalmente predominan las emisiones fuera de banda. Las emisiones fuera de banda, que se definen de acuerdo con su fuente, ocurren en el dominio fuera de banda y, en menor grado, en el dominio espurio. Las emisiones espurias pueden ocurrir tanto en el dominio fuera de banda como en el dominio espurio” (véase el artículo 1, 1.146A del RR [17]).

El dominio espurio (de una emisión) es “el rango de frecuencias más allá del dominio fuera de banda, en el cual generalmente predominan las emisiones espurias” (véase el artículo 1 del RR [17], 1.146B).

Nota 4: La Recomendación UIT-R SM.329-12 [19] especifica los límites de emisiones espurias y contiene pautas referentes al límite entre el dominio fuera de banda y el dominio espurio. Según los principios indicados en el Apéndice 3 del RR [17], el dominio espurio, generalmente, consiste en frecuencias separadas de la frecuencia central de la emisión por un 250% o más del ancho de banda necesario de la emisión. Sin embargo, esta separación de frecuencia puede depender del tipo de modulación utilizado, la tasa de bit máxima (en el caso de modulación digital), el tipo de transmisor y factores referentes a la coordinación de frecuencias.

3.3.6.1.2.2 Ancho de banda ocupado

Para llegar a la definición de ancho de banda ocupado, de acuerdo con lo formulado en el artículo 1, No. 1.153 del RR [17], se ha tenido que pasar un proceso de varios años de modificaciones, que ha sido necesario debido al aumento en la congestión del espectro y a los distintos problemas para llegar a una definición que pueda ser aplicada de una manera más general.

La definición que actualmente se utiliza es la siguiente:

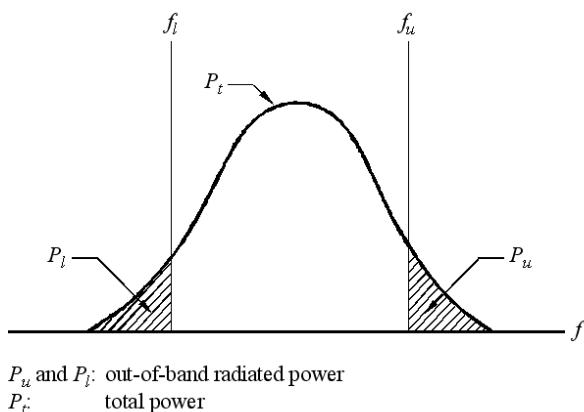
“Anchura de banda ocupada: Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan potencias medias iguales cada una a un porcentaje especificado, $\beta/2$, de la potencia media total de una emisión dada.

En ausencia de especificaciones en una Recomendación UIT-R para la clase de emisión considerada, se tomará un valor $\beta/2$ igual a 0.5%”.

El concepto de esta definición se muestra en la Figura 36.

FIGURA 36

Definición de ancho de banda ocupado como se formula en el artículo 1, No. 1.153 del RR [17]



Las técnicas de procesamiento de señales digitales (DSP) se pueden utilizar para calcular el ancho de banda del $\beta\%$ a partir de la densidad espectral de potencia (PSD). Primero, el piso de ruido de la PSD se estima con uno de varios algoritmos DSP. Los valores de PSD se fijan a cero si la potencia es menor que el dB de Y sobre el piso ruido. Para la mayoría de ambientes de señal, $Y= 6$ dB proporciona excelentes resultados. La potencia total de la señal, P , se computa sumando los valores contenidos en los compartimientos de PSD que contienen la potencia de la señal. El funcionamiento integral de la PSD se computa y los datos se interpolan para encontrar la frecuencia, f_l , donde la potencia integrada es $P\beta/2$. Lo anterior se repite desde el otro lado del espectro para obtener la frecuencia superior, f_2 , donde la potencia integrada es igual a $P\beta/2$. El ancho de banda es $f_2 - f_l$.

Nota: De acuerdo con el §2 de la Recomendación UIT-R SM.328-11 [18] “una emisión se considera óptima desde el punto de vista de la economía del espectro cuando su ancho de banda ocupado coincide con el ancho de banda necesario para la clase de emisión”.

3.3.6.1.2.3 El ancho de banda en “x-dB”

Las dos definiciones anteriores reflejan la calidad y los aspectos de interferencia del ancho de banda. Sin embargo, en ciertos casos puede ser difícil aplicarlas directamente para medir el ancho de banda de una señal determinada. Por lo tanto, se da una tercera definición en la Recomendación UIT-R SM.328-11 [18], de la siguiente manera:

“Ancho de banda de xdB: Es el ancho de una banda de frecuencia en la cual, más allá de sus límites más bajos y más altos, cualquier componente discreto del espectro o densidad espectral de potencia continua es por lo menos x-dB más bajo que niveles de referencia predeterminados de 0 dB”.

Nota: Los resultados de la investigación muestran que el ancho de banda en “x-dB” se puede utilizar para estimar el ancho de banda ocupado bajo condiciones bien definidas en cuanto a la clase de emisión y características de modulación de la señal. No obstante, hay casos (por ejemplo, algunos esquemas de modulación digital) en los que el ancho de banda en “x-dB” no es una buena estimación del ancho de banda ocupado.

3.3.6.1.3 Monitoreo del ancho de banda de emisiones en las estaciones de monitoreo

El monitoreo del ancho de banda ocupado de una emisión se debe realizar de acuerdo con la definición formal del artículo 1, No. 1.153 del RR [17]. Estas definiciones se refieren a un ancho de banda momentáneo. Sin embargo, como la medida de una emisión en una estación de monitoreo debe realizarse bajo condiciones reales de tráfico, sobre una trayectoria de propagación sujeta a la fluctuación de los valores medidos, a los efectos del ruido y la interferencia, a la velocidad de respuesta del equipo de medida, etc., los métodos de medición deben refinarse continuamente.

El ancho de banda de señales de FM y AM cambia constantemente con los contenidos de modulación. En estos casos, las estaciones de monitoreo estarán interesadas en determinar el máximo ancho de banda ocupado y el ancho de banda de “x-dB”, dentro de un marco de tiempo dado. Por lo tanto, todos los métodos de medida aquí descritos dan lugar al máximo ancho de banda ocupado.

Los receptores de medición/monitores modernos se basan en el procesamiento de señales digitales. El uso de esta tecnología permite determinar el ancho de banda por ambos métodos (el “x-dB” o el β%). El método del β% permite mediciones del ancho de banda independientemente de la modulación de la señal. Por lo tanto, se debe preferir este método, especialmente para medir el ancho de banda de señales digitales, cuando su identificación técnica no está disponible y en casos despreciables de *S/N* baja. Sin embargo, en casos de interferencia, los valores del método de medición en “x-dB” pueden ser mucho más relevantes.

3.3.6.1.4 Consideración de la exactitud

Los factores que tienen influencia en la incertidumbre de la medida del ancho de banda son:

- Principio de medida (FFT o análisis del espectro barrido).
- Resolución del ancho de banda.
- Ausencia de linealidad de la exhibición de la amplitud.
- Forma espectral de la señal.
- Procedimiento de medición (por ejemplo, para las señales TDMA).
- Lectura del receptor/analizador.
- Características del receptor/analizador (por ejemplo, sensibilidad).
- Número de medidas.
- Ambiente electromagnético (por ejemplo, ruido, interferencia, vecindad de otras emisiones).

3.3.6.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ANCHO DE BANDA

3.3.6.2.1 Medición del ancho de banda ocupado

Las mediciones del ancho de banda ocupado mediante métodos directos se llevan a cabo según lo especificado en la Recomendación UIT-R SM.328-11 [18]. La relación entre los errores en la medida del ancho de banda ocupado δ' y los errores en la comparación de la potencia v se obtiene a partir de la aproximación de la envolvente del espectro, la cual se describe más abajo y se muestra en la Figura 37.

Las líneas sólidas corresponden a la aproximación según la siguiente ecuación:

$$S_1(f) = S(f_m) \left(\frac{f_m}{f} \right)^\gamma \quad (14)$$

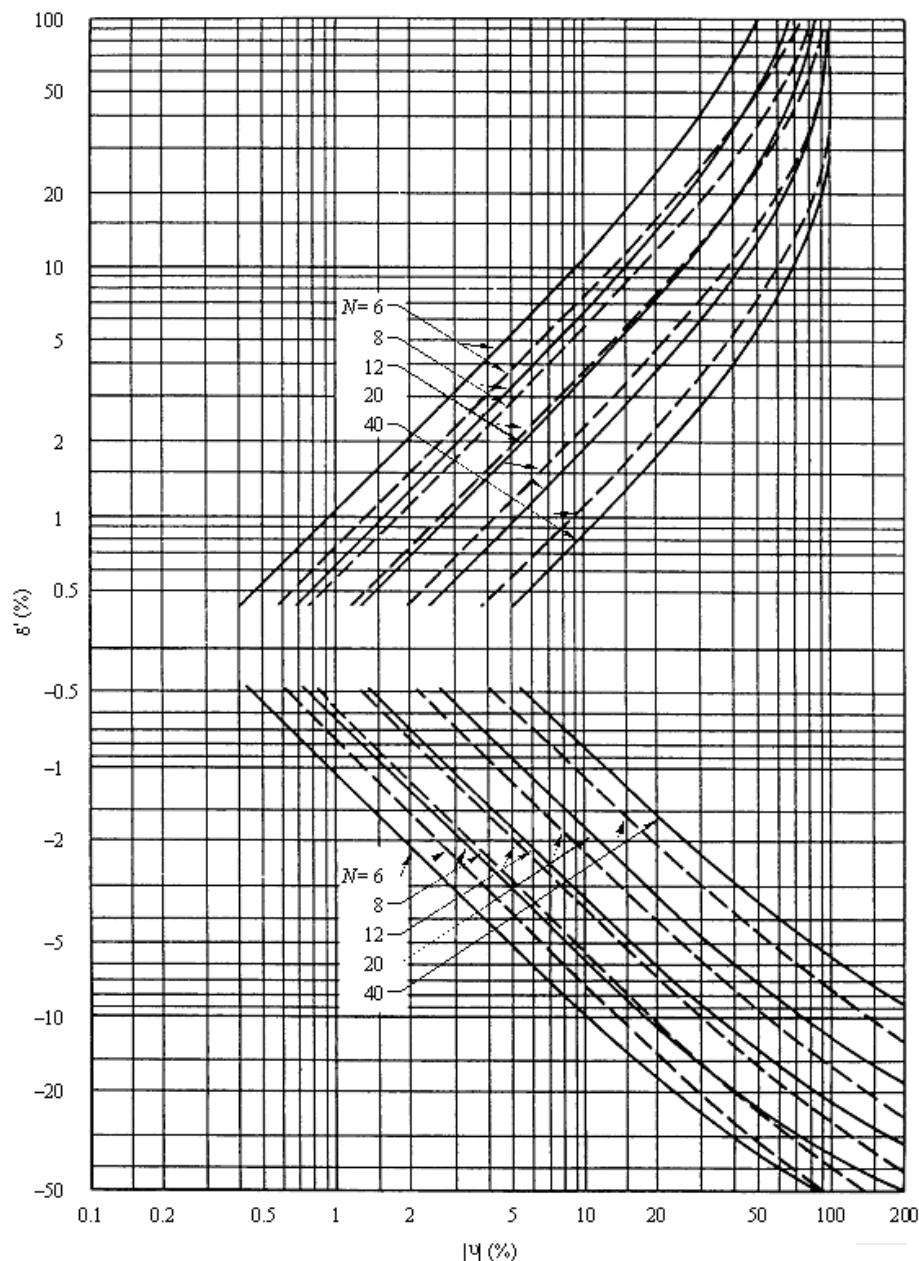
$\gamma = 0.33 N$

Donde $S(f_m)$ es la potencia en una frecuencia dada f_m , y N es un número de dB por el cual la envolvente del espectro es reducida dentro de un octavo de ancho de banda. Las líneas discontinuas corresponden a la aproximación según la ecuación (15):

$$S_2(f) = S(f_m) \exp \left[-\frac{0.23N_1}{f_m} (f - f_m) \right] \quad (15)$$

FIGURA 37

Relación entre el porcentaje de error (ν) al medir el ancho de banda ocupado y el porcentaje de error (ν) en la comparación de la potencia para distintos valores N



Donde N_1 representa el número de dB que corresponde al primer octavo de ancho de banda. La Figura 37 demuestra que, para los valores más comunes de $N = 12$ a 20 dB/octava, es suficiente con llevar a cabo la comparación de la potencia a una exactitud muy baja de

alrededor del ± 15 al 20%, para asegurar una exactitud en la medida del ancho de banda ocupada de ± 3 al 7%.

Estos métodos consisten en comparar la potencia total de la emisión con la potencia restante después de filtrar, por medio de dos filtros paso bajo o de dos filtros paso alto o un filtro paso alto, o un filtro paso alto y uno paso bajo, las frecuencias de corte, las cuales pueden ser cambiadas a voluntad con respecto al espectro de la emisión. Alternativamente, los componentes relevantes de la potencia se pueden determinar evaluando el espectro de potencia según lo obtenido mediante un analizador de espectro.

3.3.6.2.2 Método utilizando un analizador de espectro

Con este método, los dos límites de las frecuencias mencionados en la definición del ancho de banda ocupado (véase la sección 3.3.6.1.2) se determinan evaluando el espectro de potencia de una emisión obtenido a partir del análisis del espectro. Los valores relevantes de la potencia se determinan sumando las potencias de los componentes espetrales individuales.

Esto asume un espectro en línea, el cual existe solamente para las señales periódicas. Sin embargo, el espectro de las señales de tráfico reales es un espectro continuo. No obstante, este método se puede aplicar en el último caso, ya que es suficiente para determinar el ancho de banda ocupado para seleccionar muestras del espectro con una separación equidistante entre frecuencias. Esta separación entre frecuencias solo necesita ser elegida de tal manera que las muestras reproduzcan la envolvente del espectro lo suficientemente bien.

Incluso en el caso de un espectro en línea verdadero, por ejemplo, una emisión de un radar, donde por razones prácticas el ancho de banda del filtro con que se analiza no puede ser tan estrecho como se requiere para resolver cada línea espectral, basta con evaluar un número estricto de muestras, siempre y cuando se cumpla con las condiciones descritas para el espectro continuo. De esta manera, este método se adapta particularmente para determinar el ancho de banda ocupado de las señales que contienen información numérica o cuantificada con espectros cuasi-periódicos, por ejemplo, telegrafía, datos y señales de radar.

La grabación del espectro por medio de un gráfico X-Y facilita su evaluación, para la cual, normalmente, es suficiente una calculadora de bolsillo. Este método es especialmente conveniente para la automatización. Un analizador de espectro con un sintetizador controlado digitalmente escanea el espectro en pasos de frecuencia definidos y una memoria digital envía los valores medidos a una computadora que a su vez realiza los cálculos. Puesto que un analizador de espectro convencional realiza un análisis secuencial del espectro y no un análisis en tiempo real, es recomendable hacer varios escaneos.

Los detalles de este método se presentan en la sección 3.3.6.8.

3.3.6.2.3 Métodos basados en FFT (transformada rápida de Fourier)

Los métodos de proceso simples para el procesamiento de señales digitales basados en FFT hacen posible la medición del ancho de banda ocupado de una emisión, en el sentido de la definición formal del artículo 1, No. 1.153 (del RR [17]), por lo menos en el caso de una señal recibida con suficiente tasa señal-ruido. Tales métodos directos son una ventaja con respecto a los métodos “x-dB”, los cuales se basan siempre en presunciones para deducir el ancho de banda ocupado, que a su vez dependen de la modulación usada y de las señales modulantes. Las presunciones estándar fueron dadas para las señales análogas tradicionales y señales RTTY, y hasta ahora no se han estandarizado nuevos valores. Parece ser que las nuevas señales digitales pudieron haber generado relaciones a priori entre el ancho de banda “x-dB” y el ancho de banda ocupado menos fáciles de utilizar, porque:

- Para modulaciones estrictamente idénticas (tales como una señal 64-QAM), el ancho de banda exacto dependería del filtrado en banda base, el filtrado de RF, la compartición del filtrado de Nyquist entre las partes receptora y transmisora del sistema, la linealidad del emisor y las posibles técnicas de predistorsión, etc.; todas las técnicas se utilizan para lograr algunas condiciones técnicas dependiendo de los fabricantes.
- Existen dificultades adicionales tales como la potencia substancial de las interferencias en canales adyacentes que pueden dañar las medidas.
- Por otra parte, las señales digitales que tienen una tasa de bit fija poseen un comportamiento estacionario, por lo cual son más fáciles de medir que las señales análogas moduladas aleatoriamente.

Los métodos de medida basados en FFT requieren poco o ningún conocimiento detallado de los parámetros de modulación y pueden interpretar la parte del espectro de la señal que emerge fuera del piso de ruido. Además, el método basado en la relación de potencia es mucho menos sensible al *windowing* elegido que los valores “x-dB”. Cuando la relación señal-ruido es insuficiente para determinar el 99% de la potencia del ancho de banda, esta se podría aumentar mediante una integración más larga con un FFT de resolución más fina. Sin embargo, esto no es posible para las modulaciones digitales parecidas al ruido.

En todo caso, la relación señal-ruido requerida para realizar la medición del ancho de banda con el método de potencia del 99% no debe ser irrazonablemente alta. En muchas señales se pueden obtener resultados con una relación señal-ruido de 15 a 20 dB (definido aquí como la diferencia de la señal pico y de piso de ruido), la cual representa un valor razonable en muchos casos, y es más bajo que 26 dB.

3.3.6.2.3.1 *Efectos de diversos factores al medir el ancho de banda con métodos FFT de relación de potencia*

Efecto de windowing (ventanas)

La FFT genera un banco de filtros, los cuales no son perfectamente rectangulares, que prueban la potencia no solo en $f \pm \delta f$ sino que además presentan los lóbulos laterales. Varias funciones de ventana han sido creadas para tener en cuenta la preferencia por la exactitud de las mediciones de nivel o frecuencias. Para las mediciones del ancho de banda según el método de $\beta\%$, sería preferible elegir una función de ventana (*windowing*) que genere un contenido de potencia general del lóbulo lateral inferior, como para funcionar en condiciones lo más cercanas posibles a la definición, lo cual requiere filtros rectangulares perfectos. Sin embargo, un gran número de mediciones en diversas señales demuestran que la influencia del método de *windowing* es relativamente pequeña para señales comunes y en condiciones prácticas normales de medición.

Efecto de resolución de FFT

Otra característica que se puede elegir es el número de líneas de FFT. Las mediciones de la evaluación (con diversos tipos de señales de modulación digital y en ausencia de ruido) demuestran que el método de potencia del 99% es mucho menos sensible a la resolución elegida para computar la FFT. Arroja resultados muy exactos, tan pronto como más de 100 a 200 líneas cubran el ancho de banda ocupado de la señal medida.

Efecto de duración de la muestra de señal

La duración de la muestra de señal también desempeña un papel importante al usar los métodos FFT basados en relación de potencia. El análisis FFT se basa en la presunción de que la señal medida es de duración finita y totalmente capturada. Por lo tanto, la ventana de observación debe ser lo suficientemente larga para cubrir la señal entera.

La medida del ancho de banda tiene que ser realizada sobre una parte significativa de la señal que está siendo investigada, pero las estaciones de monitoreo solo observarán la señal durante un periodo de tiempo. Es necesario desarrollar métodos de medida que puedan ser aplicados sobre una pequeña porción de la señal, para poder realizar medidas automáticas en una gran cantidad de transmisores durante un tiempo razonable.

Las pruebas de simulación con señales estacionarias (como las pruebas comunes para modulación digital en ausencia de desvanecimiento) demuestran que se obtienen resultados confiables para alrededor de 1000 símbolos. Una buena regla empírica al llevar a cabo mediciones del ancho de banda en señales digitales podría ser apuntar a un mínimo de 1000 símbolos de la modulación.

Efecto de ruido

Bajo condiciones ruidosas es esencial filtrar la señal que emerge del ruido; la importancia de la filtración aumenta cuando la SNR es baja y cuando el filtro de observación es ancho, comparado con el ancho de banda de la señal. Si se intenta una medición directa sin precaución (es decir, si la banda observada excede considerablemente el ancho de banda ocupada), entonces se medirá el ancho de banda del 99% de la señal más ruido ($s+n$), en lugar de medir solamente la señal, obteniendo resultados absolutamente incorrectos.

La forma y posición exactas del filtro no son muy sensibles, siempre que se encuentre posicionado para aislar el lóbulo principal emergente de la señal. Algunas señales teóricas pueden tener una potencia del 99% en el ancho de banda, incluyendo algunos lóbulos laterales, pero es raro encontrar tales señales en la práctica, puesto que el filtrado en el transmisor, generalmente, limita la emisión al primer lóbulo para la eficacia del espectro.

Sin embargo, se debe tener precaución al analizar señales con lóbulos laterales anchos, hasta niveles que alcancen -26 dB, o con los lóbulos laterales estrechos que alcancen niveles similares con decaimiento lento. Dos lóbulos laterales simétricos, cada uno con un ancho igual a la mitad del lóbulo principal, y con un aumento hasta -20 dB, representarían el 1% de la potencia de la señal, contribuyendo al ancho de banda de la señal del 99%.

Los ajustes prácticos que se pueden utilizar para un filtro adecuado son -50 dB, como nivel lateral máximo del lóbulo y 0.1 dB para la onda pasa banda. La cresta del filtro debe ser ajustada para rechazar después de la intersección de la señal, con lo que se presume será el piso de ruido. El filtrado correcto, a menudo, comienza en la cresta de la señal para lograr un rechazo total donde inicia el piso de ruido. Como medio práctico para validar la medida, y también para mejorar el resultado, es necesario que un operador defina un filtro más estrecho para repetir la medición. Hay que tener en cuenta que la primera medida en el filtro de captura total se puede utilizar como base para ayudar a definir el filtrado adicional.

Efecto de los factores desconocidos para el personal de monitoreo

Los parámetros de modulación conocidos como “ocultos” (como el factor BT de una modulación GMSK, Gaussian Minimum Shift Keying) no se pueden determinar fácilmente en una estación de monitoreo. Tampoco se pueden deducir a partir de la señal medida, si la banda base o el filtrado RF fueron aplicados a la emisión medida en el lado del transmisor; lo mismo ocurre para eventuales no linealidades del transmisor.

Estos factores son generalmente desconocidos y no se pueden medir en una estación de monitoreo. Sin embargo, un aumento importante del ancho de banda ocupado puede ocurrir a causa de la ausencia de linealidad, ocasionada por un cambio repentino en la polarización del amplificador de potencia del transmisor. Al realizar una comparación con medidas anteriores del ancho de banda ocupado, una estación de monitoreo puede descubrir este tipo de problema. Por otra parte, los parámetros “ocultos” tienen un efecto importante sobre la forma de un espectro transmitido, haciendo casi imposible derivar un método para la con-

versión de medidas “x-dB” a potencia del 99% ancho de banda, incluso si se considera un tipo determinado de modulación. Esta es una razón por la cual se deben preferir los métodos directos en lugar de los métodos “x-dB”.

El efecto de la función de máxima retención (Max-Hold Function)

La función de máxima retención permite considerar las variaciones extremas de la señal que se pasarían por alto al hacer la promediación debido a su baja ocurrencia. La función de máxima retención puede no ser la manera más apropiada de estimar el ancho de banda de la potencia del 99% del ancho de banda. Sin embargo, resulta conveniente cuando se trata de analizar si una señal está por debajo de una máscara espectral determinada, puesto que retiene cualquier pico que pueda llegar a sobrepasar el límite.

3.3.6.2.3.2 Límites en la aplicabilidad de los métodos FFT de relación-potencia para las mediciones de ancho de banda

Consideraciones de automatización

Una automatización total del ancho de banda ocupado en el contexto del monitoreo del espectro es difícil en general: la señal a medir se debe filtrar de tal manera que el canal adyacente y el ruido adyacente no afecten demasiado la medición. La señal debe ser aislada, lo que implica que múltiples emisiones en el filtro deban ser distinguidas de múltiples portadoras o de los lóbulos laterales de la señal que va a medirse.

Si la señal es intermitente, se debe estar preparado para que la medición ocurra solamente durante la presencia de la señal. Otros parámetros que también pueden afectar la medida, incluyen la variación del AGC en el receptor, el desvanecimiento de la propagación, etc. Por lo tanto, las medidas del ancho de banda deben llevarse a cabo preferiblemente bajo un SNR razonablemente alto (por decir >20 a dB 30), para limitar las contribuciones de ruido cuando el filtro de análisis ha sido dispuesto óptimamente alrededor de la señal deseada, y en bandas canalizadas en las cuales se conozca bien el patrón de las emisiones.

Cuando las medidas automáticas se realizan a ciegas en señales desconocidas, es deseable que un operador revise la validez de estas mediciones antes de seguir utilizando los resultados. Las mediciones sistemáticas de rutina del ancho de banda en emisiones conocidas pueden ser una manera de generar alarmas, cuando la señal deseada es reemplazada por una señal intrusa o por interferencia. Este tipo de mediciones también pueden ser utilizadas para comprobar algunos parámetros de una emisión. Generalmente, las medidas automáticas de rutina del ancho de banda se realizan sobre una muestra corta de la señal objetivo, como, por ejemplo, centenas de milisegundos. Esto se debe a la necesidad del receptor de monitoreo de procesar una gran cantidad de señales en poco tiempo, tanto para revisar frecuencias regularmente como para detectar el uso irregular del espectro.

Cuando las medidas del ancho de banda se toman con una ventana de observación que es demasiado corta para cubrir la potencia de la densidad espectral, la medida generalmente no es válida si la señal objetivo es una señal no estacionaria, como la voz de AM, de SSB o de FM. Por el contrario, los resultados válidos se obtienen fácilmente en transmisiones rápidas de datos (como una señal permanente de radiofaro de 277 kbit/s emitida desde un GSM). Sin embargo, la medición del ancho de banda de corta duración puede tener cierto valor, incluso en señales no estacionarias, cuando se utiliza para comprobar si la señal excede un valor máximo.

3.3.6.2.4 Métodos directos para medir el ancho de banda en “x-dB”

Estos métodos se diseñan para obtener, de varias formas, el espectro de la señal, de la cual el ancho de banda en “x-dB” se puede derivar por lectura directa. Se pueden derivar diversas características de los espectros fuera de banda, tales como los niveles de inicio y las tasas de decaimiento. Más adelante se presenta una descripción del método para ajustar los niveles referencia de 0 dB y determinar el ancho de banda de “x-dB” y los valores de los niveles “x-dB” para varias clases de emisión.

EL NIVEL “X-DB”

El nivel “x-dB”, medido con respecto al nivel cero, se puede especificar individualmente para cada clase de emisión.

Sin embargo, para obtener resultados que presenten una mejor concordancia con el artículo 1 del RR [17], No. 1.153, se debe medir el ancho de banda de las clases de emisiones con niveles “x-dB” especialmente calculados, cuyos valores se presentan en la Tabla 7.

Nota: Aunque la derivación del ancho de banda del 99% a partir de la medida -“x-dB” podría ser un método viable para diversas clases de emisiones, como se propuso anteriormente, parece que estos métodos no pueden utilizarse fácilmente en un espectro “digital”, debido a que la complejidad de las modulaciones digitales no permite definir una regla simple para derivar el ancho de banda del 99% de las medidas tomadas a -“x-DB”.

TABLA 7

El valor empírico derivado del nivel de “x-dB” en el cual los anchos de banda “x-dB” y anchos de banda ocupados se encuentran cerca unos de otros

Clase de emisión (Ver RR Apéndice 1)	Valores de “x-dB” para ser utilizados al medir el ancho de banda en x-dB para la estimación de ancho de banda ocupado	Observaciones
A1A A1B	-30	Para $\alpha^{(1)} \geq 3\%$ (Todas las formas de pulso)
A2A A2B	-32	Para una profundidad de modulación entre 80 y 90%
A3E	-35	
B8E	-26	
F1B	-25	Para todas las formas de señal y un índice de modulación de $2 \leq m \leq 24$
F3C	-25	Para todos los tipos de figuras transmitidas e índices de modulación de $0.4 \leq m \leq 3$
F3E G3E	-26	
F7B	-28	
H2B	-26	
H3E	-26	
J2B	-26	
J3E	-26	
R3E	-26	
C7W (8-VSB)	-12 ⁽²⁾	Promedio de más de 300 barridos
G7W (T-DAB)	-8 ⁽²⁾⁽³⁾	Promedio de más de 100 barridos

(1) El tiempo relativo de acumulación, α de una señal de telégrafo se define en el § 1.10 de la Recomendación UIT-R SM.328-11 [19].

(2) Según la Recomendación UIT-R SM.328-11 [19], la unidad de estos valores es dBsd porque el nivel de referencia fue elegido al valor máximo de densidad de potencia espectral (psd) dentro del ancho de banda necesario.

(3) Este valor se deriva de experimentos con Radiodifusión Multimedia Digital Terrestre (T-DMB) utilizando una red de radiodifusión de audio digital (DAB) tomada del Informe UIT-R BT.2049-5 [20].

NIVEL CERO DE REFERENCIA DE SEÑALES DE RADIODIFUSIÓN EN FRECUENCIA MODULADA

Un nivel de referencia (0 dB), que representa el valor pico de la emisión, es a veces difícil de establecer con fines de realizar mediciones del ancho de banda, en el caso de emisiones en frecuencia modulada, debido a la reducción en la amplitud de la portadora con la modulación. En algunos sistemas de radio, la modulación es continua y rara vez permite la potencia plena del transmisor para regresar a la frecuencia portadora y poder establecer un nivel de referencia. Sin embargo, la potencia total emitida de una señal en FM es constante.

Por lo tanto, se puede medir el nivel cero de referencia eligiendo un ancho de banda para el receptor que abarque toda la señal, mientras que el receptor de medición es sintonizado a la frecuencia central de la emisión a medir. Se debe tener cuidado de no incluir partes de emisiones vecinas al seleccionar el ancho de banda del receptor.

Sin embargo, para la siguiente medida de los puntos “x-dB”, el ancho de banda del receptor debe ser reducido para alcanzar suficiente resolución, pero debe ser por lo menos igual a la frecuencia modulada más alta.

NIVEL CERO DE REFERENCIA DE SEÑALES DE AMPLITUD MODULADA

El método para establecer el nivel de referencia (0 dB) descrito anteriormente, también se puede usar para las mediciones del ancho de banda de “x-dB” de emisiones de amplitud modulada y pulso modulado.

Al igual que las emisiones de radiodifusión, las señales de amplitud modulada usualmente tienen un ancho de banda en el orden de la audiofrecuencia modulante más alta. En este caso, el ancho de banda mínimo que se requiere para el receptor, para una medición real de los puntos x-dB (como se describió anteriormente), puede no ser lo suficientemente exacto debido a la reducción de la resolución al usar altos anchos de banda de medición. Para superar este problema, las señales de AM también se pueden medir con anchos de banda con resoluciones más pequeñas. Sin embargo, para estas mediciones se necesita un analizador de espectro para establecer los valores de referencia de 0 dB de la siguiente manera:

El espectro se registra con la resolución estrecha requerida para el ancho de banda, utilizando la función de máxima retención (Max-Hold Function). El nivel de referencia se toma como el nivel máximo del espectro dentro de las bandas laterales, sin considerar el nivel de la portadora que se visualizará como un solo pico en el centro.

NIVEL CERO DE REFERENCIA DE SEÑALES MODULADAS DIGITALMENTE

Las señales moduladas digitalmente, en general, tienen un ancho de banda que es más alto que las medidas de anchos de banda requeridas para las mediciones, por lo que se obtiene una resolución razonable del espectro registrado. Sin embargo, ya que la señal digital es similar al ruido, la reducción del nivel, por lo estrecho del filtro de medición, será igual

en todas las frecuencias a lo largo del espectro emitido. Por lo tanto, el nivel cero de referencia se fija al nivel máximo que se muestra al escanear o registrar el espectro. Por lo tanto, la medición de los puntos $x-dB$ debe hacerse con el mismo ancho de banda de la medición.

Si la medición pretende comprobar la conformidad con una determinada máscara espectral, esta debe realizarse con el ancho de banda de resolución utilizado para definir esa máscara. Sin embargo, si las máscaras se refieren a la potencia total emitida, este nivel debe ser medido, primero, utilizando un ancho de banda del receptor que sea suficiente para capturar toda la señal y, luego, cuando el ancho de banda es reducido para registrar la forma del espectro, se debe considerar la degradación del nivel máximo medido.

EQUIPO DE PRUEBA REQUERIDO

Este equipo requiere que las señales bajo prueba produzcan un espectro, cuyos componentes sean estables en amplitud y frecuencia. Las amplitudes se miden por medio de un atenuador calibrado con referencia a un nivel constante (ya sea interno o externo al receptor/analizador de medición).

Es posible obtener una exactitud de $\pm 1\text{dB}$ en la medición de la amplitud relativa. La exactitud de la medida del ancho de banda “ $x-dB$ ” depende de la exactitud de la medida de amplitud y de la forma y cresta del espectro en el punto de medida.

Se utilizan los siguientes métodos de análisis del espectro.

3.3.6.2.5 Método con un solo filtro pasa banda (análisis secuencial del espectro)

Este método, el más común, consiste en analizar completamente el espectro de la emisión por medio de un filtro de barrido de banda estrecha como, por ejemplo, un analizador de espectro. Al usar este método, se considera el ancho de banda de “ $x-dB$ ” para incluir componentes discretos atenuados a menos de 26 dB por debajo del nivel máximo de las emisiones. Se admite que este procedimiento no proporcionará una medida exacta del ancho de banda ocupado en los términos de la definición del RR. Por ejemplo, es posible que una emisión en particular tenga varios componentes de bajo nivel en cualquiera de los lados de la emisión principal, de tal manera que su suma en cada lado sea igual a mucho más que el 0.5% del total de potencia perjudicial, que si no hubiera ninguno de estos componentes discretos por encima del nivel de -26 dB. En tal caso, se presumiría que el ancho de banda ocupado, de acuerdo con lo determinado en el transmisor mediante la medición de tasas de potencia, sería un poco mayor que el ancho de banda “ $x-dB$ ” medido a distancia por medio de este método.

Una falla importante de los analizadores de espectro que utilizan un solo filtro para barrer la banda completa bajo vigilancia, es la incompatibilidad entre la alta resolución y la rapidez de las tasas de barrido, especialmente en los que se debe estudiar una banda de an-

cho considerable. Es necesario un índice de barrido rápido para obtener una visualización representativa de componentes transitorios. Sin embargo, al aumentar el índice del barrido empeora la resolución, lo que ocasiona que los componentes significativos de la emisión no sean reproducidos exactamente.

3.3.6.2.6 Incertidumbre de las mediciones de ancho de banda de “x-dB”

La relación entre el error relativo (δB_x) de la medición del ancho de banda “x-dB”, (B_x), el error agregado (δx) en la lectura del nivel “x-dB” y la medición (representación) de los niveles de densidad de la potencia espectral de la señal (SPD) en los límites de B_x , para diferentes valores de tasas de reducción de SPD expresados como N dB, para una octava de ensanchamiento de la banda de frecuencia, se ilustra en la Figura 38. Los valores que se muestran en la Figura 38 a) corresponden a una aproximación de SPD de la envolvente dentro de los límites de B_x , de acuerdo con la ecuación (12), y en la Figura 38 b) de acuerdo con la ecuación (13). Las líneas continuas en la Figura 38 a) corresponden a los errores de medición positivos de B_x , mientras que las líneas discontinuas corresponden a los errores negativos.

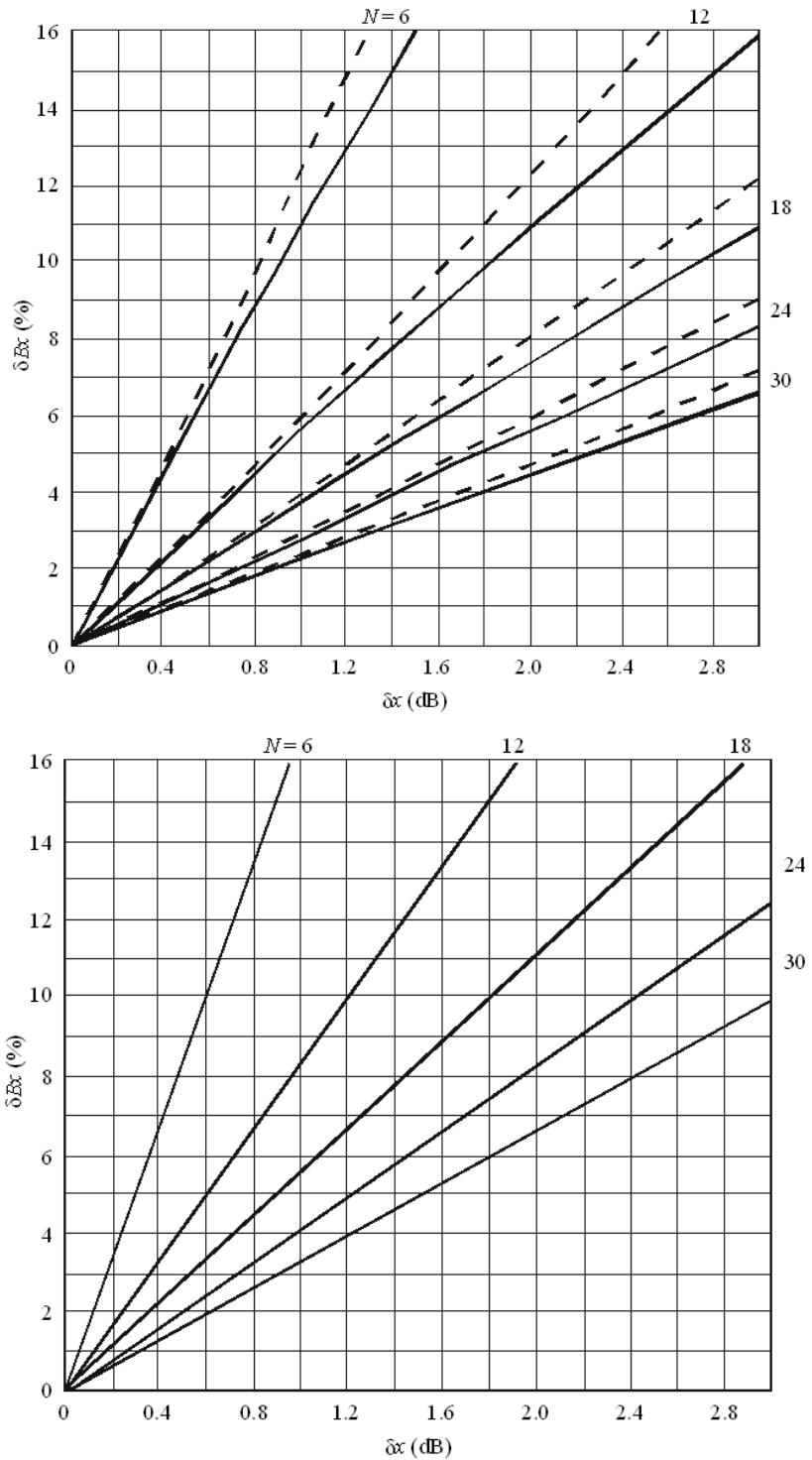
Está claro en la figura que el error de medición de B_x con aproximación de SPD conforme a la ecuación (13) es aproximadamente 1.5 veces menor, y que con ambos tipos de aproximación depende mucho de la tasa de reducción de SPD N , dentro de los límites de B_x , aumentando notablemente los valores bajos de N . En los casos en que $N=12$ dB/octava, para obtener la medida exacta de B_x dentro del 5%, es necesario alcanzar una exactitud agregada del nivel de lectura “x-dB” y una medición (representación) de los niveles de SPD en el orden de 0.6-0.9 DB, lo cual es extremadamente problemático, mientras que donde $N = 6$ dB/octava (transmisión AM o FM/PM de pulsos rectangulares con bajo índice de modulación), obtener medidas de B_x con una exactitud por encima del 7-8% es prácticamente inalcanzable.

3.3.6.3 CONDICIONES A TENER EN CUENTA PARA LAS MEDICIONES DEL ANCHO DE BANDA

La definición actual de ancho de banda ocupado sugiere el principio descrito en la Recomendación UIT-R SM.328-11 [19], de medir la relación de potencia total con la potencia restante por fuera del ancho de banda que se mide. Para hacerlo, sería necesario localizar los bordes superiores e inferiores de la banda, totalizando la potencia en los componentes fuera de banda en el lado alto hasta obtener el 0.5% del valor, y luego repetir este procedimiento para los componentes fuera de banda y debajo de la banda, iniciando en cada caso lo suficientemente lejos de la frecuencia central como para no omitir ninguna energía apreciable en la medición.

FIGURA 38

Medición del error de ancho de banda en “x-dB”



Aunque el ancho de banda ocupado de una emisión se pueda determinar mediante el método de medir la potencia total y la potencia fuera de banda, cuando las mediciones se realizan cerca al transmisor, este método generalmente no es aplicable para las medidas realizadas a una distancia del transmisor en la cual la presencia de emisiones interferentes o el ruido tiendan a enmascarar los componentes fuera de banda de la señal de interés. Esto es particularmente cierto para las porciones congestionadas del espectro MF (banda 6) y HF (banda 7), que son zonas de interés primario para las estaciones de monitoreo internacional.

A pesar de las claras limitaciones en cuanto a la exactitud de las mediciones de ancho de banda cuando se trata de observaciones hechas a distancia, las determinaciones aproximadas se han encontrado útiles cuando se monitorea el espectro con fines de aplicar la normatividad en cuanto a la limitación del ancho de banda. Sin embargo, estas mediciones imprecisas, realizadas a distancia, que están sujetas a inexactitudes por las razones expuestas anteriormente, se deben considerar solo con fines de asesoramiento. Donde se requiere mayor precisión son deseables las mediciones en el transmisor.

Para asegurar la medición correcta es necesario conocer los efectos exactos del ruido, interferencia y desvanecimiento, de acuerdo con lo que se discutirá a continuación.

3.3.6.4 EFECTO DE INTERFERENCIA

Las características reales de las emisiones interferentes son extremadamente complicadas y es difícil discutir aquí todos los casos. Los efectos de interferencia se discuten con base en las siguientes presunciones:

En la Figura 39, ambas emisiones, la que se va a medir y la interferente, tienen distribuciones espectrales estables.

FIGURA 39
Distribuciónpectral sin interferencia

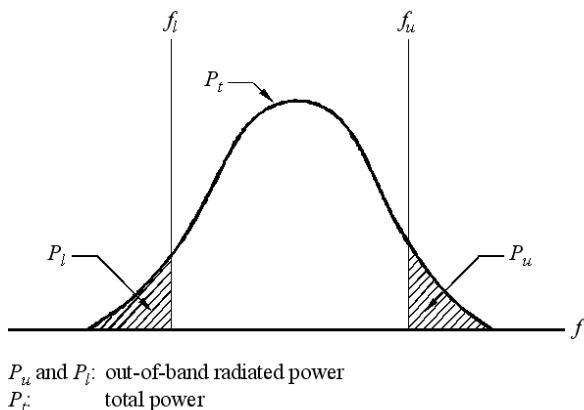
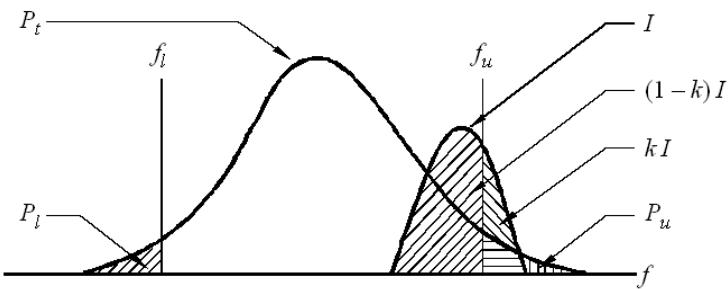


FIGURA 40
Distribución espectral con interferencia



En la Figura 40, una emisión interferente no causa bloqueo, intermodulación ni otros espectros adicionales.

En métodos de medición que utilizan análisis espectral, la presencia de interferencia se puede reconocer observando la distribución espectral, y los efectos consecuentes se pueden deducir y remover. Un ejemplo basado en el método de relación-potencia, el cual está sujeto a interferencia, se estudiará más adelante.

En la Figura 39 se presume que no hay ruido o interferencia presente, sino solamente la emisión que se medirá en la banda de paso del equipo de medición.

La Figura 40 muestra el caso en el que existe la presencia de una emisión interferente.

La relación de potencia total de una señal deseada, con respecto a la potencia total de emisiones interferentes no deseadas, se expresa con W/U , y la relación de potencia de las señales interferentes que queda permanece por fuera, el ancho de banda ocupado con respecto a la potencia total de emisiones interferentes se expresa como k . El efecto de la interferencia se muestra en la Figura 41, utilizando k como parámetro. Este diagrama es válido independientemente del tipo de modulación y a la distribución espectral de las emisiones.

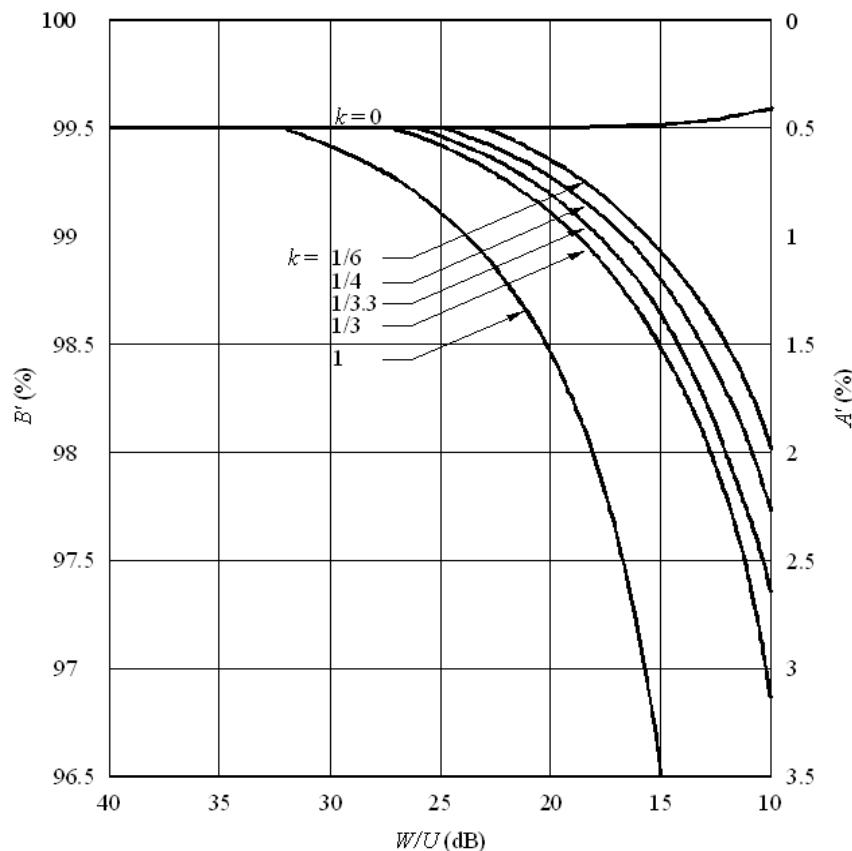
Si k es igual a la tasa de la potencia radiada por fuera de banda de la emisión a medir con relación a la potencia total, la interferencia no afecta el valor medido.

Generalmente, a medida que W/U disminuye, el error se vuelve más grande. Cuando $k=0$, las emisiones interferentes están totalmente dentro de la banda y el valor medido del ancho de banda ocupado se vuelve aparentemente más estrecho. Cuando $k=1$, las emisiones interferentes están totalmente por fuera de la banda, el ancho de banda se vuelve aparentemente más amplio.

En la práctica, la interferencia no siempre se ajusta a las formas explicadas anteriormente y sus efectos son complicados. Sin embargo, en la medición real es suficiente considerar el error más grande, es decir, $k=1$ (la emisión interferente está totalmente por fuera de la banda). Según la Figura 41, se entiende que un valor de la relación W/U de más de 30

FIGURA 41

Relaciones entre W/U, A' y B'



A': virtual value of ratio of out-of-band radiated power to total power
B': virtual value of ratio of in-band radiated power to total power

dB se requiere para limitar el error de medición de la relación de potencia a menos del 0.1% de la potencia total.

Se recomienda que al realizar las mediciones se utilice un analizador de espectro u otros medios para determinar la naturaleza de las emisiones interferentes.

3.3.6.5 EFECTOS DE RUIDO

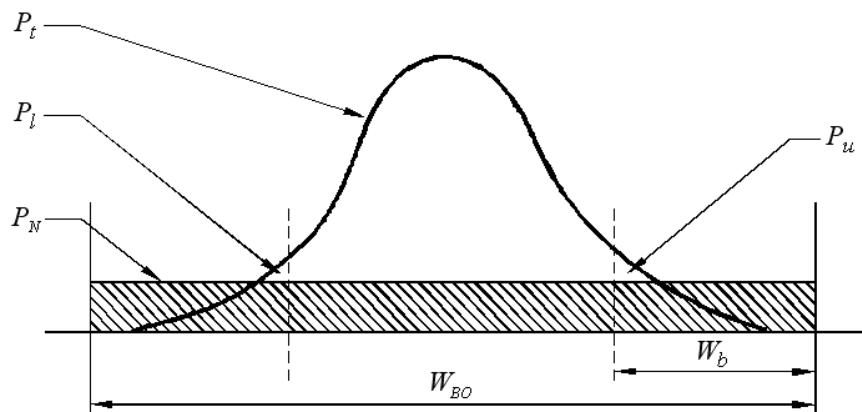
Como con la interferencia, los efectos del ruido pueden ser deducidos y removidos cuando se utiliza un método de análisis del espectro. Sin embargo, el efecto resultante del ruido se complica ya que las características de este dependen de la fuente de generación.

Los efectos del ruido aleatorio, que en teoría es fácil de tratar, y de otros tipos de ruido, junto con un ejemplo basado en mediciones reales, utilizando el método de relación-potencia bajo los efectos del ruido, se tratan en las siguientes secciones.

EFFECTO DEL RUIDO ALEATORIO

Si el ruido es considerado como aleatorio, su efecto se evalúa de la manera como se explica a continuación. La Figura 42 muestra el esquema de la distribución espectral con ruido aleatorio. Los efectos del ruido aleatorio sobre el valor medido de ancho de banda son los mismos que los de la interferencia, reemplazando k por k_n ($= W_b/W_{BO}$), W/U por S/N ($= P_t/P_N$) en la Figura 41. Sin embargo, hay casos reales en los cuales $k_n = 0$ o $k_n = 1$ no existen con ruido aleatorio. Por lo tanto, la Figura 42 muestra que, mientras que la relación señal a ruido, S/N , de la emisión a medir se vuelve más pequeña, aumenta la potencia aparente radiada fuera de banda, y aparentemente se extiende el ancho de banda ocupado. Por ejemplo, limitar el error de medición de la relación de potencia a menos de 0.1%, el valor de S/N para la emisión a medir debe estar por encima de cerca de 25 dB; para valores k menores de cerca de 1/3, lo cual se considera apropiado para una estación de monitoreo.

FIGURA 42
Distribución espectral con ruido aleatorio



W_{BO} : equivalent noise bandwidth of the measuring equipment

P_N : total power of random noise passing through W_{BO}
(flat power distribution over W_{BO})

3.3.6.6 MEDICIÓN PRÁCTICA DEL ANCHO DE BANDA

3.3.6.6.1 Condición para la medición práctica

En medidas reales, en estaciones de monitoreo existen problemas debido a que, bajo condiciones normales de tráfico, las mediciones se deben realizar generalmente a cierta distancia de la estación transmisora.

Los problemas son los siguientes:

- 1) Por lo general, la emisión a medir tiene una baja intensidad de campo y debe ser seleccionada entre muchas emisiones.
- 2) Existe la posibilidad de que el valor medido sea distinto al valor en la estación transmisora, debido a los efectos de los disturbios en la propagación.
- 3) Existe la posibilidad de que el ruido y la interferencia lleguen a influenciar los resultados de la medición.
- 4) El tiempo de respuesta del equipo de medición debe ser lo suficientemente corto como para seguir las variaciones en el ancho de banda ocupado, que resultan de la condición de tráfico de la emisión a medir.

De los problemas mencionados anteriormente, los primeros tres fueron discutidos en la sección 3.3.6.6, junto con los problemas en las mediciones. En el monitoreo real, cuando se presenta el primero de estos problemas, el sistema de medición se compone de una combinación de equipos para medir el ancho de banda ocupado y equipos de recepción. Para el cuarto problema, los requisitos para el equipo usado para la recepción y medición del ancho de banda ocupado se describen en la siguiente sección.

3.3.6.6.2 Requisitos para el equipo usado en monitoreo

3.3.6.6.2.1 *Requisitos para el equipo receptor*

El equipo receptor adecuado para la medición del ancho de banda ocupada en una estación de monitoreo debe cumplir con las siguientes condiciones:

- La característica de frecuencia de la banda de paso debe ser plana dentro de ± 0.5 dB sobre el rango del espectro de la emisión a medir.
- La selectividad de la frecuencia debe ser capaz de discriminar adecuadamente el ruido y la interferencia fuera de banda sin introducir una pérdida de más de 2 dB en los bordes de la banda de paso, en relación con el nivel en el centro de la banda de paso.

- El equipo debe contar con una buena linealidad para una variación de entrada de por lo menos 60 dB, para hacer frente a posibles variaciones en la intensidad de campo de la emisión a medir.

3.3.6.6.2.2 Equipo para el análisis de espectro

Siempre que se utilice un analizador de espectro para determinar el ancho de banda con el método “x-dB”, se debe contar con el modo de operación de “máxima retención” (también conocido como memoria pico). El equipo debe tener una buena linealidad y mostrar el rango para variaciones en el voltaje de entrada de por lo menos 60 dB.

Para la medición de emisiones de banda estrecha es deseable un analizador de espectro con un alto grado de resolución, para poder obtener una visualización exacta de la distribuciónpectral de la emisión. Un instrumento típico tiene una resolución máxima de 10 Hz y proporciona un rango de frecuencia de barrido ajustable de 1 kHz a 100 kHz, y un índice de barrido ajustable de 1 a 30 barridos por segundo.

Para el análisis de emisiones de banda ancha están disponibles los analizadores de espectro que incorporan un receptor completo, así como esos diseñados para el uso con los receptores de fines generales. Los instrumentos disponibles cubren una gama de frecuencia hasta de 44 GHz, con una variable del ancho de rapidez continua, hasta de 100 MHz (en las frecuencias más altas). El índice de la velocidad es ajustable a partir de 1 a 60 series por segundo.

Para el análisis de emisiones de banda ancha se pueden encontrar analizadores de espectro que incorporan un receptor completo, así como otros que están diseñados para ser utilizados con receptores multipropósito. Los instrumentos disponibles cubren un rango de frecuencia de hasta 44 GHz, con un ancho de barrido que varía constantemente hasta 100 MHz (en las frecuencias más altas). El barrido es ajustable de 1 a 60 barridos por segundo.

3.3.6.6.2.3 Equipo para el método de relación de potencia

Debido a los estrictos requisitos de exactitud impuestos para el atenuador de comparción, no es recomendable el método de comparar la potencia interna de la banda con la potencia total, y, por lo tanto, el equipo debe estar diseñado para comparar la potencia radiada fuera de banda con la potencia total (como lo hace el equipo descrito en la sección 3.3.6.3).

Como con cualquier equipo de medición para propósitos generales, es recomendable que el equipo esté en capacidad de mostrar cada una de las frecuencias de umbral para las cuales las potencias perjudiciales por debajo o por encima de la frecuencia indicada sean iguales al 0.5% de la potencia total, con el fin de calcular automáticamente el ancho de banda ocupado y registrarlo directamente.

El equipo debe tener un rango dinámico de por lo menos 30 dB. Si el nivel de entrada varía más ampliamente, es recomendable usar un atenuador variable para el control automático, de acuerdo con la variación de los niveles de entrada.

Es recomendable que el equipo de medición pueda lograr indicaciones a escala completa dentro de 0.3 -0.5 s, de modo que pueda seguir la fluctuación real del ancho de banda ocupado de una emisión.

Para lograr una mejor que el 10%, al realizar la medición de la potencia radiada fuera de banda, la banda de paso debe tener un plano mayor que ± 0.5 dB y la pérdida en la banda de parada debe ser por lo menos de 30 dB. Además, la cresta en la banda de transición debe ser empinada.

3.3.6.6.2.4 *Equipos basados en técnicas FFT*

La estimación confiable del ancho de banda ocupada de muchas de las señales digitales PSK, CPM y QAM se puede obtener usando el método de $\beta\%$. Para que este método proporcione resultados significativos, es necesario llevar a cabo un filtrado adecuado de la señal medida, para evitar contribuciones de ruido a la medición del ancho de banda. De hecho, para la mayoría de las transmisiones digitales, el ancho de banda del 99% de potencia se concentra en el primer lóbulo del espectro de la señal, con excepción de una señal PSK2, que rara vez se encuentra en el aire. Sin embargo, las transmisiones prácticas PSK2 a menudo se filtran en el lado del transmisor, de modo que la forma de onda radiada corresponda con la presunción del 99% de potencia contenida en el primer lóbulo.

Así, el equipo debe ofrecer una manera fácil de fijar diversas características del filtro debido al efecto del ruido según lo descrito en la sección 3.3.6.4.3.

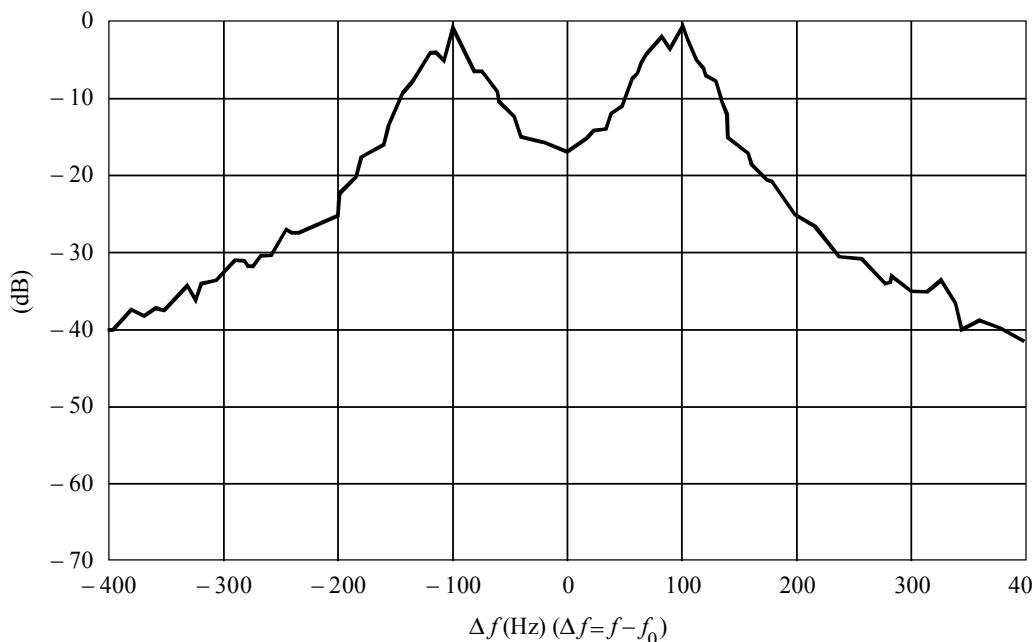
3.3.6.7 EJEMPLO DE UN MÉTODO DE MEDIDA DE ANCHO DE BANDA OCUPADA USANDO UN ANALIZADOR DE ESPECTRO

Este método se describe por medio de un ejemplo. La Figura 43 muestra el espectro de una emisión F1B usando un cambio de 50 baudios y 200 Hz en 123.7 kHz, y registrado con un analizador de espectro en modo de operación “máxima retención”, 5 escaneos, análisis del ancho de banda del filtro 30 Hz, tiempo de barrido 100 s/2 kHz. El ancho del paso para la evaluación es de 20 Hz, como se puede ver en la cuadrícula sobrepuesta en el espectro, que se utiliza solamente para determinar los valores de la atenuación para una frecuencia dada.

Algunos analizadores de espectro modernos tienen funciones incorporadas inmodificables para la evaluación del ancho de banda ocupado, que trabajan en un modo similar al descrito anteriormente. Mientras que estos analizadores de espectro no muestren realmente los valores r.m.s. del espectro, proporcionan un valor aproximado del ancho de banda ocupado.

FIGURA 43

Espectro de una emisión F1B en 123,7 kHz con 50 baudios y 200 Hz de desviación, para calcular el ancho de banda ocupado



Nota 1: El valor 0.5% de la potencia relativa es muy cercano al valor de la potencia de 0.023266 para $\Delta f = -180$ Hz (véase la primera y cuarta columna de la Tabla 8).

Nota 2: El valor de 0.5% de potencia relativa en el extremo superior de la envolvente del espectro yace aproximadamente en la mitad entre los valores de potencia de 0.015718 y 0.031567 para $\Delta f = -180$ Hz y $\Delta f = 160$ Hz, respectivamente (véase la primera y quinta columna de la Tabla 8).

La Tabla 8 indica los pasos del cálculo detalladamente. Para $\beta/2 = 0.5\%$, el cálculo arroja:

- 100% de potencia relativa = 4.372984
- 0.5% de potencia relativa = 0.021865
- Límite inferior de banda ocupada = $f_0 - 180$ Hz (véase la *Nota 1*)
- Límite superior de la banda ocupada = $f_0 + 170$ Hz (véase la *Nota 2*)
- Ancho de banda ocupado = 350 Hz

TABLA 8
Cálculo del ancho de banda ocupado

Δf (Hz)	p (dB)	$P_{rel.}$	$\sum_{-400 \text{ Hz}}^{\Delta f} P_{rel.}$	$\sum_{400 \text{ Hz}}^{\Delta f} P_{rel.}$
-280	-31	0.000794	0.002321	.
-260	-31	0.000794	0.003115	.
-240	-28	0.001585	0.004700	.
-220	-27	0.001995	0.006695	.
-200	-24	0.003981	0.010677	.
-180	-19	0.012589	0.023266	.
-160	-14	0.039811	0.063076	.
-140	-8	0.158489	.	.
-120	-4	0.398107	.	.
-100	0	1.000000	.	.
-80	-5	0.316228	.	.
-60	-11	0.079433	.	.
-40	-14	0.039811	.	.
-20	-15	0.031623	.	.
0	-17	0.019953	.	.
20	-14	0.039811	.	.
40	-12	0.063096	.	.
60	-7	0.199526	.	.
80	-2	0.630957	.	.
100	0	1.000000	.	.
120	-6	0.251189	.	.
140	-13	0.050119	.	.
160	-18	0.015849	.	0.031567
180	-21	0.007943	.	0.015718
200	-26	0.002512	.	0.007775
220	-27	0.001995	.	0.005263
240	-31	0.000794	.	0.003268
260	-31	0.000794	.	0.002474
280	-33	0.000501	.	0.001679

Si se elige un ancho de paso de 40 Hz y considerando solamente los componentes entre -260 Hz y 260 Hz, se obtiene un resultado que también es de aproximadamente 350 Hz.

Por ende, en general, es suficiente con elegir un ancho de paso aproximadamente igual o menor al 10% del ancho de banda ocupada esperada, siempre y cuando siga siendo posible la reproducción de la envolvente, y con considerar solo aquellos componentes que sean aproximadamente iguales o mayores de 30 dB con relación al pico de la envolvente del espectro. En el ejemplo dado, el nivel de la potencia relativa de 0 dB pasa a través del pico de la envolvente del espectro. Esto es conveniente para los cálculos mas no esencial; cualquier otro nivel de referencia llevará al mismo resultado.

Nótese que las lecturas se muestran en dB (segunda columna), mientras que la definición requiere resumir los valores de potencia. Por lo tanto, los valores dB son convertidos a potencia relativa (tercera columna).

3.3.7 *Medición de la cobertura*

3.3.7.1 INTRODUCCIÓN

En algunos casos, la solución más efectiva, y en algunas ocasiones la única solución posible, es realizar las medidas de la intensidad de campo mientras el vehículo está en movimiento. Las mediciones conocidas como mediciones de la cobertura son muy comunes en redes de comunicaciones móviles (radio celular), así como para servicios de radiodifusión en la banda de FM. Estas medidas se realizan normalmente durante la fase de la planificación de la red, pero también durante la fase de funcionamiento para el análisis de la interferencia, el mantenimiento de la red, el análisis de la extensión, para verificar la cobertura de un transmisor y para inspeccionar las simulaciones de cobertura de radio asistidas por computador.

Esto es necesario puesto que los parámetros de interferencia son solo aproximaciones y los efectos de los edificios no se pueden predecir exactamente. En estos casos la intensidad real del campo no siempre es de interés. En lugar de una antena calibrada, se puede utilizar la antena típica para el servicio bajo investigación y todo el sistema del vehículo, y la antena se puede calibrar mediante el método de substitución. El montaje de la antena en el techo del vehículo se debe hacer de tal manera que se logre una recepción omnidireccional. En algunos casos es suficiente con medir el voltaje en la terminal de la antena en vez de la intensidad de campo. El mismo procedimiento también es utilizado por los fabricantes de antenas para optimizar las antenas de recepción móviles y el montaje de la antena en el techo del vehículo.

Los requisitos mínimos para las mediciones de cobertura son los siguientes (véase también la sección 3.3.7.2 sobre mediciones a lo largo de una ruta):

- Las medidas rápidas y exactas de la intensidad de campo se deben realizar con un ancho de banda IF de medición, ajustado a la señal transmitida. Los intervalos de medición durante un *tour* de medición deben ser lo suficientemente cortos en cada frecuencia como para permitir la evaluación estadística, por ejemplo, seguir el método de Lee y la velocidad de la medición debe ser tal que la velocidad de vehículo corresponda a la velocidad del tráfico. El sistema que consiste en un receptor de medición y un computador deben ser accionados por un transductor de distancia a pulso sujeto a una rueda no motorizada, para las mediciones regulares. Es posible llevar a cabo mediciones simultáneas en varias frecuencias para aumentar la eficacia del sistema.
- El rango operativo dinámico del receptor de medición debe ser suficiente, es decir, ≥ 60 dB, para las variaciones comunes de la intensidad de campo.
- Los resultados de la prueba se deben ligar a los datos geográficos.
- La memoria de computador debe ser suficiente para almacenar todos los datos sin reducción de la información.
- El monitor del computador debe mostrar lecturas en línea y en tiempo real de los datos de las mediciones.
- El sistema de prueba debe ser capaz de evaluar los datos medidos para los parámetros estadísticos, representación gráfica vs. distancia, representación cartográfica de la intensidad de campo y transferencia de datos a un programa de planificación en red.

3.3.7.2 PROPÓSITO DE LLEVAR A CABO MEDICIONES DE LA COBERTURA

En las actividades de monitoreo se tiene que medir la cobertura de los radiotransmisores y de las redes para diversos propósitos:

- Para verificar las predicciones de las herramientas computarizadas utilizadas para la planificación de la red.
- Para verificar el cumplimiento de las condiciones establecidas en las licencias, si parte de una licencia establece que un área, porcentaje de un área o porcentaje de la población está cubierto por el servicio de radio.
- Para verificar la calidad del servicio en un área dada.
- Para determinar las condiciones de recepción en ciertas localizaciones en donde se reportan interferencias.

En sistemas de modulación análoga puede ser suficiente con medir la intensidad de campo. Debido a ciertas circunstancias y principios inherentes a la recepción de sistemas de

modulación digital, la cobertura de canales de redes terrestres digitales de televisión tienen que ser medidas de forma diferente a las redes análogas.

Este documento describe los principios de medición, procedimiento y equipos necesarios para las mediciones fijas y móviles de cobertura de radiotransmisores y redes. Sin embargo, puede ser necesario adaptar la información proporcionada a los requisitos del sistema individual o a las condiciones individuales de la licencia.

3.3.7.3 PREDICCIÓN DE LA COBERTURA

La predicción de la cobertura es un procedimiento para calcular el área geográfica dentro de la cual es posible la recepción del servicio. Se basa en parámetros del transmisor, modelos de terreno y propagación y se realiza con herramientas automatizadas. El resultado representa una ubicación definida y la probabilidad de tiempo.

Por ejemplo, una zona que se determina como cubierta por DVB-T, cuando la intensidad media del campo para una situación de recepción en particular, a una altura sobre el suelo determinada (generalmente 10 m), y la tasa de protección alcanza o excede los valores dados en los documentos de planificación relevantes (por ejemplo, el Acuerdo GE06 [21]).

El hecho de que se cubra o no una zona es el resultado de un proceso de cálculo realizado con una herramienta de predicción de cobertura, que asume condiciones y/o valores definidos para:

- La condición de recepción (por ejemplo, recepción fija o portátil).
- La pérdida de intensidad de campo con la distancia debido a la topografía y morfología.
- El modelo del receptor (por ejemplo, sensibilidad y selectividad).
- La antena de recepción (altura, ganancia y directividad).
- El canal de recepción (Gausiano, de Rice o de Rayleigh).

Adjunto al atributo de “cubierta” se encuentra también cierta probabilidad en tiempo y localización. Utilizando herramientas de planificación se calcula el área de cobertura para esta probabilidad (por ejemplo, el 50% del tiempo y el 50% de las localizaciones). Por lo tanto, no se puede asumir que la recepción con un receptor estándar es posible en cada localización dentro del área definida como cubierta.

Es importante definir la cobertura de una forma comprensible e inequívoca antes de expedir una licencia. De lo contrario, pueden surgir diferencias desagradables si no existe un acuerdo de cobertura real entre el operador de red y la autoridad reguladora.

3.3.7.4 Principio de medición básico

Generalmente, no es posible medir la intensidad de campo u otros parámetros relevantes en todos los puntos del área de interés. En realidad, lo que se mide es la conformidad de la predicción con la cobertura real y no la cobertura misma.

Normalmente, en sistemas análogos, la intensidad de campo se mide de forma fija en un número estadísticamente suficiente de puntos en el campo o en forma móvil a lo largo de las rutas. Los factores limitantes son la accesibilidad a los puntos de medición y el tiempo disponible y horas de trabajo. Los valores medidos de la intensidad de campo son entonces comparados con los valores previstos. El mismo principio se aplica para los parámetros específicos del sistema o parámetros de la calidad del servicio en sistemas digitales. Cabe señalar que las definiciones complejas de cobertura dan lugar a procedimientos complejos de medición y evaluación. La Recomendación UIT-R SM.1875 [47] sobre mediciones de la cobertura DVB-T y verificación de los criterios de planificación adaptados del Acuerdo GE06 se pueden citar como ejemplo de la complejidad.

Se definen las primeras áreas o rutas de referencia para permitir la extrapolación de los resultados de referencia a la cobertura a lo largo del área de interés. Es decir, si las predicciones se asemejan a la cobertura real en las áreas de referencia, se puede asumir que las predicciones de la cobertura del operador de red son también lo suficientemente exactas fuera de las rutas y áreas de referencia.

Para verificar la exactitud de la predicción es importante situar las áreas de referencia en las fronteras entre las regiones cubiertas y no cubiertas.

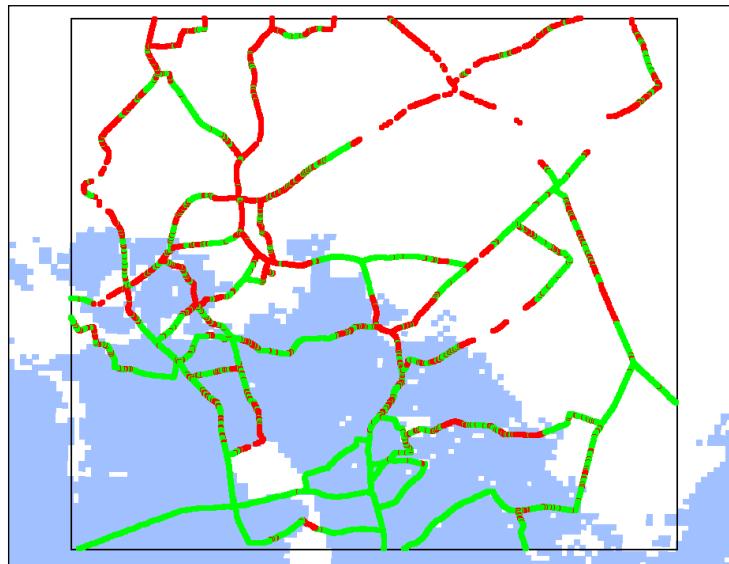
La Figura 44 muestra una ruta de medición dentro de un área de referencia. El verde indica la cobertura y el rojo que no hay cobertura. El área azul se debe cubrir de acuerdo con la herramienta de predicción.

3.3.7.5 Montaje de medición

La verificación de la cobertura no se puede llevar a cabo con un receptor estándar, verificando simplemente si trabaja en una localización determinada. Un enfoque de este tipo solo indicaría el comportamiento de ese equipo en particular en un determinado ambiente. En lugar de esto, es necesario medir parámetros técnicos, como la intensidad de campo, preferiblemente bajo las mismas condiciones de recepción asumidas por la herramienta de planificación. Generalmente, la configuración de medición consiste en una antena, un receptor y un dispositivo de grabación de datos, por ejemplo, un computador portátil.

FIGURA 44

Muestra de una medición a lo largo de una ruta dentro de un área de referencia



Normalmente, la antena se monta en el techo de los vehículos más pequeños para la medición de cobertura de recepción móvil, mientras que las medidas a 10 m de altura pueden ser apropiadas para determinar la cobertura de los transmisores de radiodifusión.

Un receptor o un analizador de espectro se puede utilizar para proporcionar los valores de la intensidad de campo para las mediciones en redes análogas y aún para identificar cualquier interferencia que pudiera impedir las mediciones correctas. Para mediciones de cobertura en sistemas digitales se deben utilizar receptores específicos. Estos receptores proporcionan parámetros específicos, tales como tasa de errores de bit (BER) y parámetros de calidad. También hay equipos disponibles que permanentemente intentan establecer conexiones con las redes móviles cuando se mide la accesibilidad de la red.

Los resultados de medición se registran junto con las localizaciones de medición. Información más detallada sobre mediciones de intensidad de campo y sistemas de navegación y posicionamiento se pueden encontrar en la sección 3.3.7.2.

3.3.7.6 VERIFICACIÓN DE LA COBERTURA

Se requiere de un software especial para presentar los valores medidos junto con las coordenadas geográficas del vehículo de medición en un mapa y compararlos con la predicción de cobertura.

Los resultados de cobertura obtenidos a lo largo de las rutas se pueden extraer para pronosticar la cobertura de un área. También se pueden combinar con datos de otras fuentes, por ejemplo, dando como resultado una declaración de la cobertura expresada en términos de porcentaje de la población.

3.3.8 *Mediciones de la frecuencia*

3.3.8.1 INTRODUCCIÓN

El procesamiento de señales digitales (por ejemplo, FFT, IFM) se ha generalizado en los equipos de medición. Esto se ha traducido en un aumento considerable en la precisión de las mediciones, facilidad de ajuste y, por lo tanto, en velocidad de medición. Se hace referencia a la Recomendación UIT-R SM.377-4 [22] para las mediciones de la frecuencia.

Prácticamente, todas las mediciones de frecuencia que se llevan a cabo en las estaciones de monitoreo se realizan a distancia y deben hacerse con la ayuda de receptores.

Con el fin de obtener resultados que no puedan ser cuestionados, los receptores deben tener las siguientes propiedades:

- Alta sensibilidad de entrada.
- Rechazo satisfactorio imagen-frecuencia.
- Modulación cruzada e intermodulación bajas.
- Filtros apropiados de entrada (preselector) para proteger la banda de frecuencia utilizada para la medición, contra frecuencias no deseadas.
- Una entrada estándar de frecuencia externa.
- Ruido bajo en la fase de los osciladores internos.
- Control de ganancia manual, a control remoto, o automático.
- Salida transparente de IF para mediciones adicionales.

Las portadoras internas, utilizadas en los mezcladores del receptor, deben ser deducidas a partir de un estándar de frecuencia.

Los generadores de señal externos o internos para la medición de frecuencias deben tener las siguientes características:

- La frecuencia debe ser sintetizada a partir de un estándar de frecuencia.
- El estándar de frecuencia interno debe tener un error de menos de 10^{-7} , para la frecuencia como tal y todos los pasos de frecuencia.
- El paso más pequeño debe ser de 1 Hz o menos.
- Debe haber un estándar de entrada de frecuencia externa para 1.5 o 10 MHz.

- Debe ser posible la operación en espera del estándar de frecuencia.
- El rango de frecuencia debe cubrir el rango de frecuencias que se medirá.
- Los armónicos deben estar atenuados a por lo menos 30 dB.
- Los no-armónicos deben estar atenuados a por lo menos 80 dB.
- Bajo ruido de fase (menor de -100 dBc/Hz a 10 kHz de desplazamiento de la portadora).
- El voltaje de salida debe ser variable a partir de 1 mV a 1 V a lo largo de 50 Ω.

Las cantidades de influencia a considerar para la medición de la frecuencia son:

- Oscilador de referencia.
- Procedimiento de medición.
- Resolución de lectura (por ejemplo, número limitado de dígitos).
- Estabilidad de la señal medida.
- Tiempo de la medición en relación con la señal a medir.
- Impacto del operador.

Los procedimientos de medición descritos más adelante son métodos más o menos manuales. A pesar de que han sido reemplazados en parte por métodos automatizados, siguen siendo importantes para:

- La medición de instalaciones simples y de bajo costo.
- El entrenamiento de los operadores de monitoreo.
- Para un servicio de monitoreo que comienza su operación.
- En caso de que sea necesario medir señales débiles y/o interferidas, ya que los sistemas automatizados generalmente fallan bajo estas condiciones.

La medición de frecuencias, generalmente, significa realizar un proceso en el cual se hace una comparación entre una frecuencia desconocida y una frecuencia conocida (frecuencia de referencia). De acuerdo con este proceso comparativo, los métodos de medición de frecuencias que se presentan a continuación son aplicados en las estaciones de monitoreo (se han utilizado algunas abreviaturas ad hoc solo para una fácil referencia en la tabla):

LOS MÉTODOS CONVENCIONALES SON:

- Método de frecuencia de batido de frecuencias (BF).
- Método de desplazamiento de frecuencia (OF).
- Método directo de Lissajous (DL).
- Método de conteo de frecuencia (FC).

- Método de discriminación de frecuencia (FD).
- Método de grabación de fase (PR).
- Método de análisis del espectro barrido (SSA).

Nota: En las estaciones de monitoreo, la mayor parte del tiempo los métodos DL, FC y SSA cubren todos los tipos de mediciones de frecuencia. Estos se describen más detalladamente en la sección 3.3.8.2. Los otros métodos se incluyen para hacer la información más completa, pero en la práctica ya no se utilizan y no están disponibles debido a la introducción del procesamiento digital de señales (por ejemplo, FFT, IFM...), que ahora se encuentra generalizado en los equipos de medición.

LOS MÉTODOS BASADOS EN DSP SON:

- Método instantáneo de medición de frecuencia.
- Métodos basados en FFT.

Nota: Los métodos basados en DSP son preferentes en estaciones de monitoreo internacionales.

La Tabla 9 muestra los métodos de medición de frecuencia aplicables de acuerdo con las funciones de los tipos de emisiones.

El método para determinar la exactitud de las mediciones de frecuencia debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Las medidas se deben hacer bajo condiciones óptimas de recepción, para no introducir nuevas variables por desvanecimiento o interferencia.
- En la medida de lo posible, los valores exactos de la frecuencia que se mide no deben ser conocidos por los operadores, que podrían caer en la tentación de corregir los resultados obtenidos.
- Para que las condiciones anteriores se cumplan, se deben utilizar las frecuencias conocidas generadas localmente, en lugar de emisiones de frecuencia estándar que se han propagado.
- El método debe producir el error del método de medición (excluyendo el error debido al estándar) y no errores parciales.
- Puesto que el error probablemente será diferente para las distintas clases de emisión, este se debe determinar para cada clase.
- Puesto que el error variará de una medida a otra para cada tipo particular de emisión y como los errores no pueden ser menos que la discriminación del equipo de medición, los resultados se pueden tratar estadísticamente.

TABLA 9
Métodos de medición de frecuencia

	BF	OF	DL	FC	FD	PR	SSA	IFM	FFT
Portadora continua (N0N)	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
Radiotelegrafía (F1B; F7B)	X	X	X		X		X	X	X
Facsímil (F1C)	X	X	X		X		X	X	X
Radiodifusión y radioteléfono (A3E)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Radiodifusión y radioteléfono (H3E; R3E; B3E)	X	X	X		X	X	X	X	X
Radiodifusión y radioteléfono (F3E)					X	X		X	X
Radioteléfono (J3E)								X	X
Radiodifusión digital (COFDM)								X	X
Radiodifusión de televisión analógica (C3F)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Retransmisión de radio FDM (F8E)					X			X	X
Señales de radar pulsado						X		X	X
Sistemas de telefonía inalámbrica (F1D, F2x, F3E, G3E)								X	X
Sistemas TDMA punto y multipunto								X	X
Sistemas de telefonía celular								X	X

- Los resultados obtenidos deben indicar el error o el método usado para la clase particular de emisión. Sin embargo, el error debido al estándar debe ser excluido.
- Cuando se describe la precisión del sistema de medición (estándar de frecuencia, así como aparatos de medición y método), el error se debe dar para cada uno de los factores involucrados. El error máximo del sistema en su totalidad será la suma de los valores absolutos de los errores debido al estándar de frecuencia y al método de medición.

Al igual que todas las otras mediciones, las mediciones de frecuencia están sujetas a errores, entre los cuales deben ser considerados los siguientes:

- Errores debido al método de medición ($\Delta f_M/f$).
- Errores debido a la modulación de la señal a medir ($\Delta f_{mod}/f$).
- Errores de la frecuencia de referencia en el ajuste de medición ($\Delta f_R/f$).

- Errores debidos a las características técnicas del ajuste de la medición incluyendo la inexactitud de lectura ($\Delta f_A/f$).
- Errores en la trayectoria de transmisión (ver abajo) ($\Delta f_T/f$).

El error máximo $\Delta f/f$ se puede estimar de la suma de los errores individuales:

$$\Delta f/f = \pm (\Delta f_T/f + \Delta f_R/f + \Delta f_M/f + \Delta f_A/f + \Delta f_{mod}/f) \quad (16)$$

En la banda 7 (HF) y, en menor medida, también en las bandas 6 (MF), 5 (LF) y 4 (VLF), la exactitud de las mediciones de frecuencia no solo se limita por el método de medición del tipo de modulación del transmisor, sino también por las variaciones de frecuencia introducidas por la trayectoria de transmisión. Al hacer las pruebas en la banda 7 (HF), se han experimentado salidas de hasta ± 3 partes en 10^{12} , entre la frecuencia de entrada y la frecuencia radiada durante la noche, en un trayecto de transmisión de más de 1000 km. También hay una mediana variación diurna de las frecuencias. Las diferencias más pequeñas son de esperar cuando el transmisor y el receptor están en la zona de la luz del día. En este caso la frecuencia de las salidas es en su mayoría de menos de 3 partes en 10^8 . También se encuentran variaciones diurnas de las emisiones en las bandas 5 y 4. Aquí las variaciones son, por lo general, del orden de 1 parte en 10^9 , siempre que la distancia de transmisión no supere varios cientos de kilómetros. Sin embargo, en muchos casos, estas restricciones son de poca importancia.

3.3.8.2 MÉTODOS CONVENCIONALES MÁS COMUNES DE MEDICIÓN DE FRECUENCIAS APLICADOS EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO INTERNACIONAL

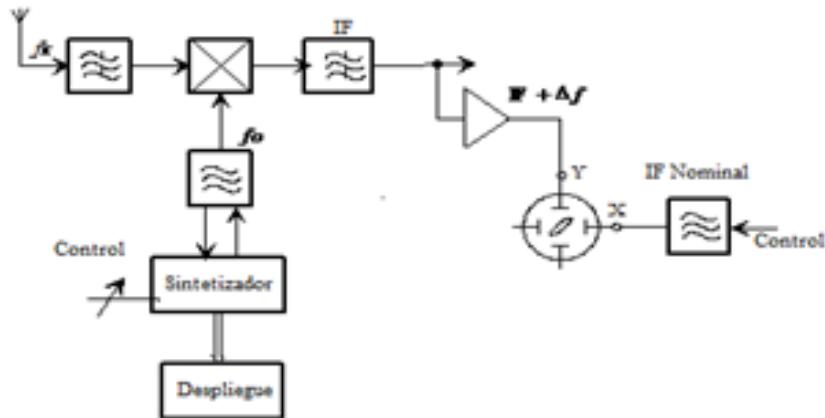
3.3.8.2.1 Método directo de Lissajous

Este método de medición se aplica en la salida de IF del receptor. Si un sintetizador de frecuencia controlado por cristal establece las frecuencias de los osciladores del receptor, el desplazamiento de la IF del valor nominal es igual al desplazamiento de la frecuencia recibida de la frecuencia establecida. Para las mediciones de frecuencia del receptor, la etapa de salida IF es aplicada al amplificador de Y y una frecuencia controlada por cristal (correspondiente al valor nominal de las IF) se aplica al amplificador X (ver Figura 45).

Esto se traduce en una elipse que se muestra en la pantalla. Si el sintetizador de frecuencia cuenta con una escala de interpolación, es necesario medir mientras la elipse parece estacionaria.

FIGURA 45

Método directo de Lissajous



3.3.8.2.2 Método de conteo de frecuencia

A parte de la inexactitud intrínseca del estándar de cristal, la exactitud del contador de frecuencia está limitada a un conteo de ± 1 del último dígito. Para que funcionen correctamente, los contadores de frecuencia también requieren un voltaje de entrada limpio y lo suficientemente alto durante todo el periodo de medición.

Los receptores con tecnología de punta cuentan con osciladores de frecuencias que sintetizan y se derivan de un estándar interno de frecuencia. Por lo tanto, una frecuencia de entrada, que es igual a la frecuencia configurada en el receptor, será convertida al valor nominal de la frecuencia intermedia (IF). Por lo tanto, el contador de IF, cuya indicación de frecuencia es corregida por la frecuencia (o frecuencias) del oscilador utilizado, indicará la frecuencia de entrada.

Dada la propiedad de integración que tiene el contador de frecuencia, este método es muy adecuado para la medición de señales de FM, siempre y cuando el tiempo de entrada del contador sea mucho mayor que el periodo de modulación de frecuencia más bajo.

3.3.8.2.3 Método del analizador de espectro de barrido

El método del analizador de espectro de barrido se usa con frecuencia en las estaciones de monitoreo para medir las frecuencias de las señales recibidas. Un oscilador sintetizado, cuya frecuencia de salida se deriva de un estándar de frecuencia interno o externo, se aplica para sintonizar un analizador de espectro moderno.

En el caso de algunas modulaciones digitales, a diferencia de la mayoría de las modulaciones análogas, es difícil encontrar una frecuencia característica en el espectro de la emi-

sión (como, por ejemplo, la portadora, en la mayoría de los casos de modulación análoga). Se puede calcular una frecuencia central en estos casos, desde el límite superior e inferior del ancho de banda ocupado (ver Figura 46).

Nota: Para la medición del ancho de banda ocupado, remítase a la sección 3.3.6.

La frecuencia central se expresa como:

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

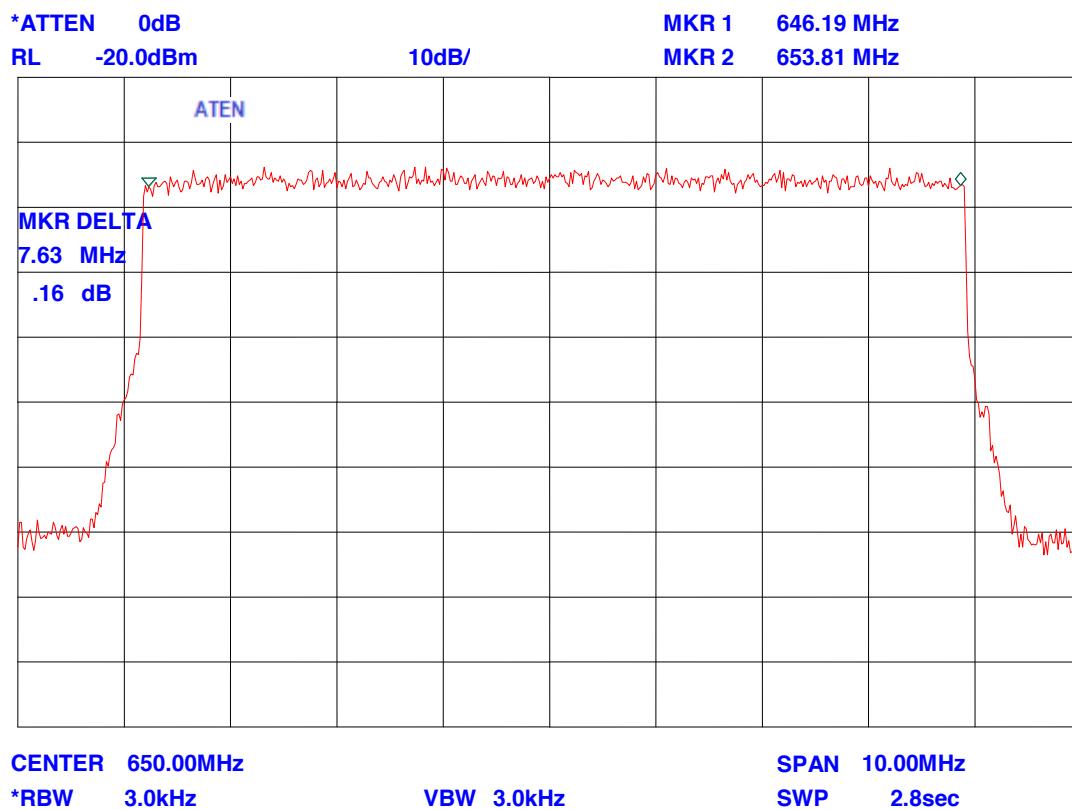
Donde:

f_c : la frecuencia central de los espectros

f_l : el valor más bajo de la frecuencia del ancho de banda ocupado

f_u : el valor más alto de la frecuencia del ancho de banda ocupado

FIGURA 46
Espectros de una señal DVB-T



3.3.8.3 MÉTODOS BASADOS EN DSP PARA LA MEDICIÓN DE FRECUENCIA APLICADOS EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO INTERNACIONAL

3.3.8.3.1 Método instantáneo de medición de frecuencia

Debido a los beneficios de la tecnología digital en las mediciones, y al progreso en las tecnologías de adquisición y procesamiento de señales, ya es posible lograr un alto nivel de precisión en las estaciones de monitoreo, manteniendo una velocidad de medición apreciable.

Particularmente, mediante el uso de receptores digitales de medición como sensores, equipos para el procesamiento de señales digitales y la utilización de técnicas de medición, tales como la medición instantánea de la frecuencia (IFM), se puede garantizar precisión tanto en los niveles de desempeño de velocidad y exactitud, proporcionando simultáneamente varias ventajas, como alta fidelidad/repetitividad en las mediciones, funciones de promediaciόn, filtrado, automatización de las mediciones, etc.

Por lo general, es posible obtener resultados de medición por segundo y hasta por menos de 1 s (200 ms) y mantener una precisión del orden de 1 Hz, o incluso mucho mejor que 1 Hz, en potadoras puras y portadoras de señales en amplitud modulada.

Estos tiempos de medición hacen posible medir señales en las que la frecuencia central se desplaza lentamente, y también hacen posible que se evidencien características de desplazamiento a través de mediciones consecutivas.

Con el fin de realizar medidas comparables entre las estaciones de monitoreo, es necesario estandarizar el tamaño de las muestras de las señales.

La opción del tamaño de la muestra debe basarse en los siguientes aspectos:

- Se deben elegir muestras cortas para obtener una buena estimación de la frecuencia central instantánea de la emisión observada. Sin embargo, la duración de la muestra debe ser lo suficientemente larga como para minimizar el voltaje de polarización que puede ser introducido por modulación. En el caso de las señales digitales, la modulación es, por lo general, aleatoria (uso de secuencias de codificación, etc.). En el caso de las emisiones análogas, y en especial de radiodifusión FM, la modulación puede darse con frecuencias de audio tan bajas como de unos pocos Hz. Por lo tanto, un mínimo de más o menos 200 ms puede ser un valor mínimo adecuado.
- Se debe elegir un tamaño de muestra corto en vista de la necesidad que tienen las estaciones de monitoreo de medir un gran número de transmisores (por ejemplo, varios miles de canales en las PMR, bandas de radio móvil privado), cuando se llevan a cabo escaneos sistemáticos de rutina sobre las bandas de frecuencia. Las muestras de tamaño corto también permiten un mejor tiempo de revisita de cada canal, por lo que es posible aumentar la probabilidad de medir los diferentes transmisores que comparten la misma red de frecuencia.

- El tamaño de la muestra debe ser corto, con el fin de evitar la promediación del desplazamiento de la frecuencia central; la duración corta de la muestra y las revisitas frecuentes permiten evaluar la estabilidad de un transmisor y estimar su desplazamiento.
- En el caso de transmisiones TDMA, el tamaño de la muestra debe ser compatible con la duración de cada una de las ráfagas elementales (por ejemplo, 500 µs para una ráfaga del GSM de 577 µs), y se debe utilizar sincronización para evitar que las mediciones superpongan dos ráfagas de señal distintas.
- Los tamaños de muestra cortos son necesarios en la medición de señales con anchos de banda anchos (señales digitales), si no se desea utilizar una cantidad irracional de memoria y potencia de cálculo y suficiente consideración de las estadísticas de dichas señales. Nótese que la medición de señales análogas tradicionales, tales como la TV (que, además, no son simétricas), se llevan a cabo en filtros estrechos en las frecuencias esperadas de las portadoras y subportadoras.
- Las muestras de señal más largas pueden ser utilizadas sin perder información sobre los valores extremos de la frecuencia central instantánea, cuando se utilizan algoritmos que arrojan valores máximos, junto con valores promedio.
- Muestras más largas de señal deben utilizarse con el fin de minimizar los errores debido al ruido, especialmente en la medición de señales que llegan a la estación de monitoreo con un nivel cercano al piso de ruido.
- Los tamaños de las muestras deben ser compatibles con las otras mediciones comúnmente realizadas en las estaciones de monitoreo, tales como la intensidad de campo, la profundidad de la amplitud de modulación, frecuencia y desviación de fase, y el ancho de banda. De hecho, el procesamiento de señales digitales tiene la ventaja de poder realizar todas las mediciones en una muestra de señal común, lo cual es una necesidad esencial en la medición de señales de ráfaga y TDMA. Las muestras de señal también deberían permitir el análisis *off-line*, mediante sistemas de análisis vectorial, cuando se estudian señales de modulación digital.
- Los tamaños de las muestras deben diseñarse para permitir la verificación rápida del cumplimiento de los transmisores durante campañas de medición de rutina. Cuando las mediciones de rutina evidencian un valor por fuera de la tolerancia, el caso suele investigarse más a fondo, para proporcionar información adicional y para confirmar si la infracción es permanente o transitoria.

Teniendo en cuenta las limitaciones anteriores, es posible recomendar los siguientes valores de tamaños de muestra:

- 500 µs (sincronizados) para señales TDMA cortas como por ejemplo GSM.
- 5 a 10 ms para señales TDMA lentas.

- -200 ms para mediciones de rutina rápidas de señales comunes (excepto TDMA).
- 1 s para mediciones de rutina a una velocidad media de señales comunes (excepto TDMA).

Las técnicas de procesamiento digital de señales permiten realizar mediciones con alta precisión y fidelidad/repetitividad a un costo razonable. Se puede llegar a una precisión del orden de 10^{-10} en una portadora pura siempre y cuando el equipo de medición haga referencia a un estándar de frecuencia adecuado. Los estándares de frecuencia bloqueados para GPS están disponibles hoy en día a una fracción del costo real, de modo que hoy se puede alcanzar una alta precisión sin costos excesivos, tanto en las estaciones de monitoreo fijas como en las móviles. El uso de un estándar de frecuencia GPS también resuelve el problema de trazabilidad de las mediciones y de tener que chequear frecuentemente la exactitud del receptor sintetizador.

Por lo tanto, la exactitud de las mediciones de frecuencia en las estaciones de monitoreo modernas pueden alcanzar alrededor de 1 Hz a 9 kHz hasta las frecuencias más altas de UHF (3 GHz) en portadoras puras. Este rendimiento es compatible y necesario aunque solo sea para verificar una de las necesidades más exigentes de exactitud para las frecuencias, descritas en las recomendaciones UIT-R, más específicamente, la configuración de frecuencia de los transmisores de televisión analógica en las redes de alta densidad (Recomendación UIT-R BT.655-7 [23]).

La exactitud de las mediciones de frecuencia en las señales moduladas aleatoriamente depende de las estadísticas de la señal y la duración de la muestra. Por lo general, la precisión en una señal modulada aleatoriamente es un orden de magnitud menor que el de una onda sinusoidal pura (± 10 Hz cuando está bloqueado en un estándar de frecuencia 10^{-10}). Sin embargo, la experiencia y las simulaciones muestran que los valores de medición recomendados anteriormente, aseguran que la exactitud de la medición de la frecuencia es al menos un orden de magnitud mejor —incluso en señales moduladas aleatoriamente—, que la precisión requerida de los transmisores para las diferentes categorías de servicios definidas en el RR [17].

Para tener una caracterización repetible del funcionamiento de una estación de monitoreo, la exactitud de calibración y los chequeos a la exactitud se deben realizar en señales puras de onda sinusoidal.

Un ancho de banda mínimo de adquisición instantánea se debe recomendar también para la medición de frecuencias en las estaciones de monitoreo, con el fin de que todas las señales a medir quepan en el filtro de medición. En la práctica, la medición debe hacerse en un filtro lo suficientemente ancho como para contener las emisiones a medir, pero también lo suficientemente estrecho para rechazar las contribuciones de las emisiones adyacentes.

Los receptores modernos incluyen una serie de filtros (por lo general 10 o más) que suelen ser suficientes para proporcionar una buena filtración de las señales comunes. Sin embargo, se debe tener cuidado al seleccionar que el equipo tenga un ancho de banda para que

quepan las señales a monitorear. Una de las señales más comunes a monitorear es la de FM, en la cual se debe exhibir una desviación de frecuencia que no exceda ± 75 kHz. Para ello, se podría requerir que una estación de monitoreo contara con un ancho de banda de adquisición instantánea de alrededor de ± 200 kHz a ± 300 kHz. Un ancho de banda de ± 300 kHz es compatible con muchas señales digitales modernas, incluyendo GSM, pero no para señales tales como DAB, IS95 o algunas de alta velocidad de punto a punto o de punto a multipunto, tales como equipos de telefonía rural utilizados a menos de 3 GHz, para lo cual es suficiente un ancho de banda de 2 MHz.

Teniendo en cuenta que a mayor ancho de banda se requieren digitalizadores y procesadores más costosos, se podría recomendar que el ancho de banda de adquisición instantánea para las medidas deba alcanzar los siguientes valores, dependiendo de los objetivos de vigilancia:

- Alrededor de ± 200 kHz para una estación de monitoreo de bajo grado, con cobertura de 9 kHz a 3 GHz.
- Alrededor de ± 2 MHz para una estación de monitoreo de alto grado, con cobertura de 9 kHz a 3 GHz.

Anchos de banda instantáneos más altos, tales como ± 8 al ± 10 MHz, pueden ser deseables en algunos casos, especialmente cuando se monitorea sobre 3 GHz o se monitorea *broadcasting video digital* o señales W/CDMA.

3.3.8.3.2 Método basado en FFT

El método basado en FFT es eficiente para convertir una amplitud digital vs. registro de tiempo en una visualización espectral de amplitud vs. frecuencia, lo que lo hace un método simple para ser llevado a cabo por un microprocesador.

Los analizadores basados en FFT para la medición de frecuencias deben tener las siguientes características:

- Capacidad de ZOOM FFT en la IF del receptor aplicado, o resolución de alta frecuencia en el receptor.
- Capacidad de las ventanas.
- Un estándar de entrada de frecuencia externa de 5 o 10 MHz.
- Una resolución de por lo menos 16 bits.
- El rango de frecuencia debe cubrir el rango de la frecuencia IF del receptor que se medirá.
- Interfaz a control remoto.
- Posibilidades de promediación para medir las frecuencias de las señales ruidosas.

Hoy en día, la FFT se utiliza comúnmente en equipos de medición (receptor o analizador de espectro) para lograr una mayor exactitud de la frecuencia. Se puede llevar a cabo con un estándar de frecuencia mediante la integración al equipo de un receptor GPS. Es posible lograr una excelente resolución de frecuencia mediante el uso de ZOOM-FFT, con la función Hann de ponderación de ventana (*windowing*).

Es posible aumentar la resolución de la medida basada en FFT, estimando que se está contando la frecuencia correcta a partir de la potencia de las líneas del espectro alrededor del pico detectado en el espectro de potencia.

$$\text{Frecuencia estimada} = \frac{\sum_{i=j-3}^{j+3} (\text{Potencia}(i) \cdot i \cdot \Delta f)}{\sum_{i=j-3}^{j+3} \text{Potencia}(i)} \quad (17)$$

Donde:

j: serie del índice del pico aparente de la frecuencia de interés

$$\Delta f = F_s/N$$

Donde:

F_s : frecuencia de muestreo

N: número de puntos en la señal adquirida en tiempo-dominio

El lapso de $j \pm 3$ es razonable, ya que representa una propagación más amplia que el lóbulo de la ventana Hann usualmente aplicada. Este cálculo puede reducir significativamente el tiempo de medición.

Las ventajas del sistema de medición basado en FFT son:

- Muy alta resolución de frecuencia y exactitud.
- La posibilidad de medir frecuencias de señales en canales comunes.
- Mayor velocidad para ancho de banda de resolución estrecha.
- Mejor sensibilidad del receptor y mejor resolución en comparación con el receptor analógico (con condición comparable y señal a analizar).

En una determinada implementación se podrían alcanzar las siguientes ventajas adicionales:

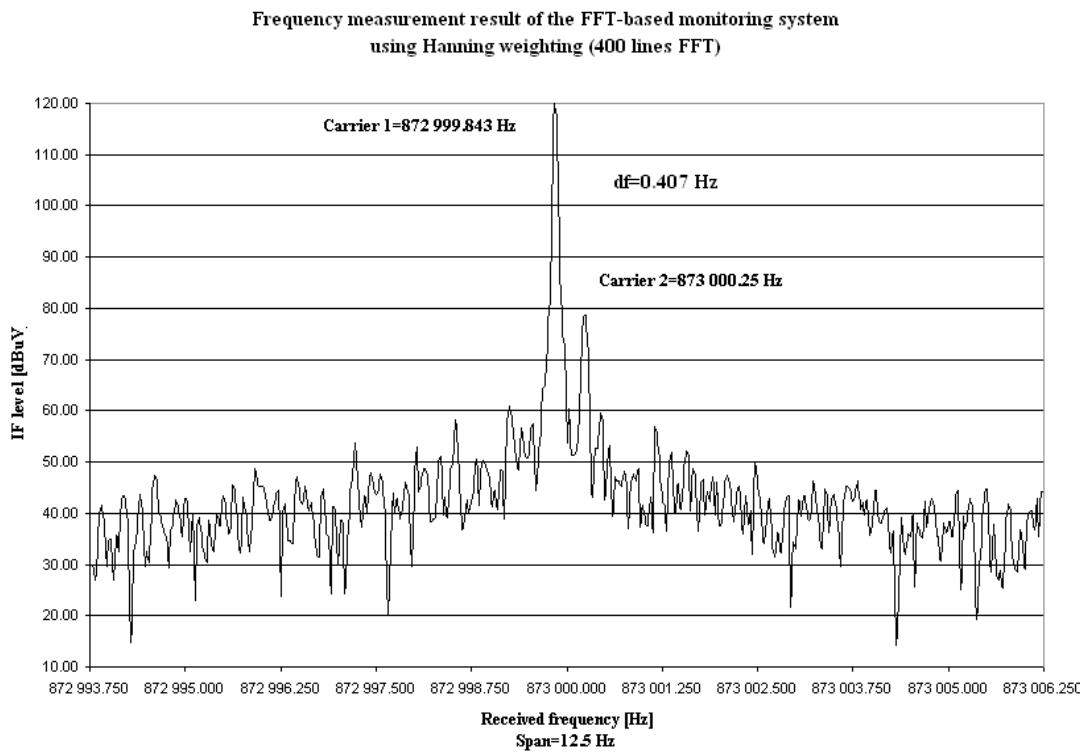
- Fácil ajuste y sintonización con las bandas de frecuencia que se monitorearán (vía la terminal de computador).
- Alta flexibilidad en la adopción de varias bandas de frecuencia.

- Almacenamiento digital de los datos del espectro.
- Alta confiabilidad debido al número reducido de componentes mecánicos.
- Reproductibilidad de todas las configuraciones del sistema gracias al procesamiento digital.
- Posibilidad de transferir los datos a través de líneas telefónicas para su evaluación y/o procesamiento posterior para los usuarios del espectro, centralización de oficinas, etc.

Nota: La posición de los espectros en la salida de IF del receptor debe ser considerada para calcular la frecuencia correcta.

La Figura 47 ilustra la medición de la frecuencia de una señal estable incluso a muy bajas distancias (separaciones) entre frecuencias.

FIGURA 47
Espectro FFT de un canal MF-BC



(Span = 12.5 Hz; Resolution: 400 lines)

3.3.8.3.3 Etapa controlada por cristal del equipo de medición de frecuencia contra una frecuencia estándar

Todos los instrumentos de medición de frecuencia cuentan con un patrón de cristales, sin importar si se puede calibrar la escala de un oscilador variable en determinados puntos, mediante una comparación con los armónicos, o si la frecuencia final se deriva del estándar de cristal, como es el caso de los sintetizadores de frecuencia. La frecuencia de salida de la etapa de cristal depende de la temperatura ambiente y del voltaje de operación. Incluso después del periodo de calentamiento, un generador de cristal muestra una variación constante de la frecuencia de salida. En la actualidad, el orden de magnitud de estas variaciones va de 10^{-8} a 10^{-12} .

Para un buen instrumento, la variación constante de la frecuencia del cristal es de 10.10 y 09.10 por día, después de un calentamiento continuo de varias semanas. En consecuencia, las etapas de instrumentos de cristal deben ser comparadas frecuentemente con un estándar de frecuencia o deben ser controladas por una emisión de frecuencia estándar. Una alternativa para la comparación periódica es bloquear permanentemente el cristal a un nivel atómico y, de esta manera, se combinan la estabilidad a corto plazo del oscilador de cristal con la estabilidad a largo plazo de la norma atómica.

En los instrumentos de medición de alta precisión, el oscilador de cristal externo, o por lo menos el horno del oscilador de cristal interno, debe ser operado en forma continua a fin de evitar efectos molestos de calentamiento y la discontinuidad en el ritmo de envejecimiento.

3.3.9 Análisis de la señal e identificación del transmisor

3.3.9.1 INTRODUCCIÓN

El radio monitoreo está cambiando. Hoy en día, las señales no solo tienden a ser más digitales, sino que también la “capacidad de inactividad” de las señales más convencionales se aprovecha para transmitir información adicional. Por otra parte, los nuevos avances y técnicas se pueden utilizar para llevar a cabo las tareas tradicionales de control de manera más eficiente. Debido a esto, el análisis de señales se ha vuelto más importante como herramienta de control y es particularmente útil para efectos de identificación del transmisor. El análisis de la señal es el arte de extraer toda la información posible a partir de una señal transmitida. Esto puede llevar a la caracterización de una señal transmitida (frecuencia, modulación, etc.), la caracterización de un transmisor (ubicación) y/o a la extracción de la información transmitida.

El análisis que se describirá a continuación se refiere a las señales de banda estrecha, como la análoga, de radio móvil privada (PMR) y PACTOR (combinación de modulación de tipo de paquete de radio y télex por radio), así como a señales de banda ancha, tales como UMTS, señales de pulso o señales moduladas en OFDM.

Se debe entender que el análisis de señales es una tarea compleja de vigilancia del espectro, que deben llevar a cabo expertos de vigilancia especialmente entrenados. Necesitan hardware y software especializado, que posiblemente tengan que ensamblar, si no hay equipos y software disponibles en el mercado para una tarea de medición específica.

3.3.9.1.1 Identificación en el marco de la regulación del monitoreo del espectro

Con el fin de hacer hincapié en la necesidad de identificación en términos de regulación, el artículo 19 del Reglamento de Radiocomunicaciones [17] (Identificación de las Estaciones), Nº 19.1, establece que "Todas las transmisiones deben poderse identificar, ya sea por señales de identificación o por otros medios".

Estos podrían entenderse como medios que permitan una identificación directa, como señal de llamada, nombre de la estación, agencia operadora, identidad del servicio móvil marítimo, marca oficial de registro, número de identificación del vuelo, número de identificación para llamada selectiva u otras características claramente distintivas, reconocidas de manera fácil a nivel internacional. Otra forma consiste en analizar las características de una señal o una emisión y deducir la identificación.

Sin embargo, el RR [17] Nº 19.1.1 también reconoce que la transmisión de señales de identificación para ciertos sistemas de radio (por ejemplo, de radio determinación, de los sistemas de radioenlaces y las estaciones espaciales) no siempre es posible. Esta clase de emisión se puede utilizar como forma de identificación en cualquier caso. A modo de ejemplo, una muestra de los códigos elaborados para móvil marítimo y móvil marítimo por satélite se muestra en la sección 3.3.9.7.

Un sexto y séptimo carácter ha estado en uso durante muchos años y esta extensión de las posibilidades de clasificación está funcionando satisfactoriamente. Este método permite la clasificación de hasta $(26 \times 26 =)$ 676 sistemas diferentes para la prestación de servicios de monitoreo. Una muestra de los códigos elaborados hasta el momento se presenta en la sección 3.3.9.8.

3.3.9.1.2 La necesidad de identificación de actividades de monitoreo del espectro

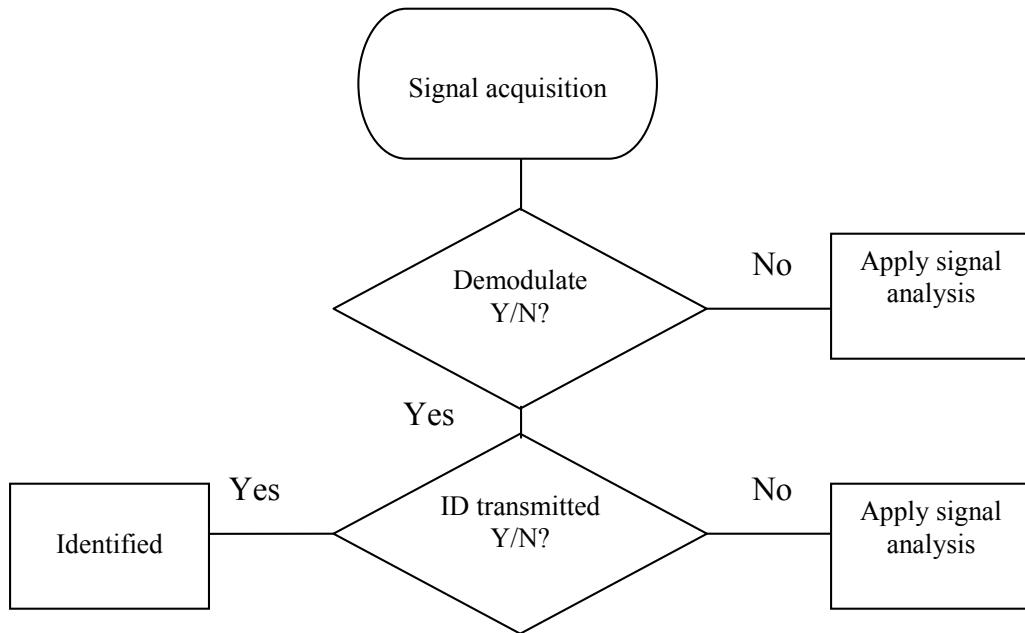
En el marco de un departamento de monitoreo del espectro se puede requerir identificación para realizar las tareas descritas a continuación:

- Identificación de los usuarios del espectro.
- Determinación de la utilización del espectro.

- Cumplimiento con las condiciones de la licencia.
- Eficiencia en el uso del espectro.
- Detección e identificación del uso ilegal.
- Detección e identificación de fuentes de interferencia.
- Localización del origen de las señales.

La Figura 48 muestra el proceso básico que se sigue para identificar el transmisor por su señal.

FIGURA 48
Tareas básicas para la identificación del transmisor



3.3.9.1.3 Aplicación del análisis de señal en el monitoreo del espectro

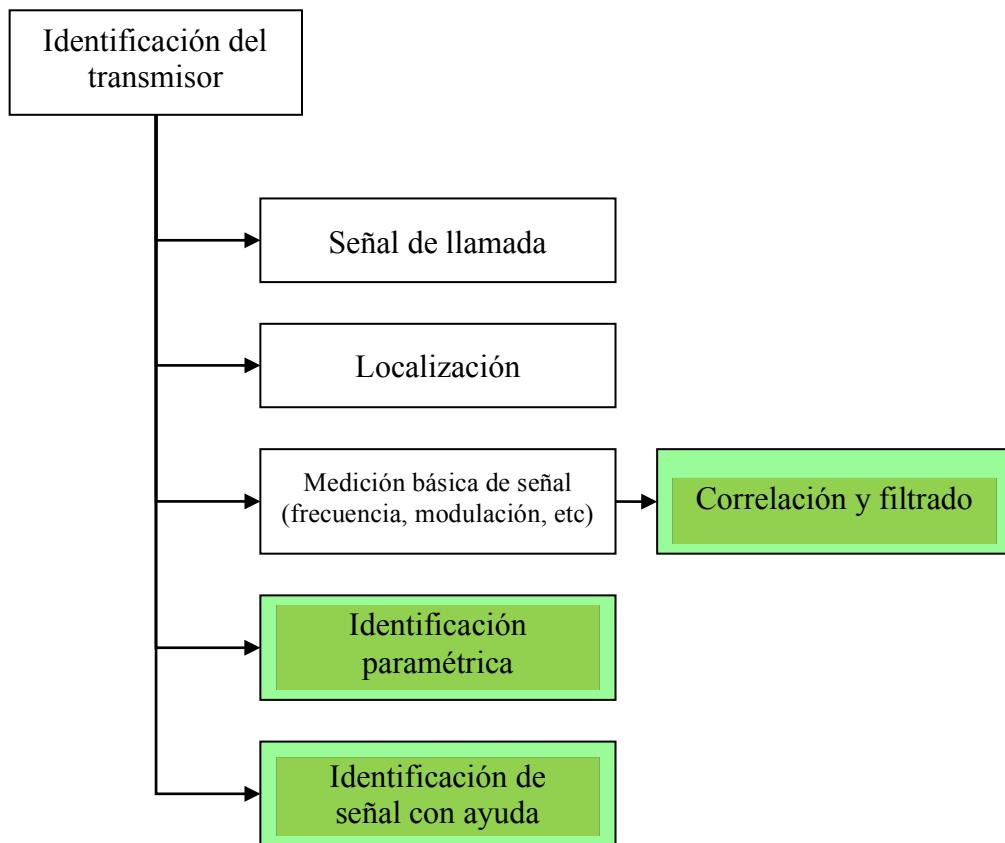
En materia de monitoreo del espectro, el análisis de señal se utiliza a menudo para la identificación de las señales y es especialmente necesario cuando las herramientas básicas de control del espectro no son suficientes para identificar una señal como se implica en la Figura 48. El análisis de la señal consiste en la detección, el análisis del espectro, reconocimiento de la modulación, demodulación análoga y digital, reconocimiento de códigos y decodificación de canal. El análisis de correlación, la criptografía y la esteganografía son, hasta cierto punto, parte del asunto. Dependiendo de las leyes nacionales algunas de estas técnicas pueden estar prohibidas.

El análisis de la señal no es necesariamente una tarea compleja de realizar, y escuchar las estaciones de radio, con el objetivo de identificación, puede considerarse como una tarea de análisis de señales.

Aunque estas tareas pueden realizarse de forma manual, la mayoría de ellas se pueden automatizar para mejorar el procesamiento, en particular y por ejemplo, en términos de tiempo de procesamiento.

A fin de lograr el proceso de identificación de un transmisor o una señal, hay diferentes métodos disponibles, los principales se resumen en la Figura 49.

FIGURA 49
Identificación del transmisor



Las cajas verdes indican el uso de técnicas de análisis de señal.

3.3.9.2 IDENTIFICACIÓN CON SEÑAL DE LLAMADA O MEDICIONES BÁSICAS DE SEÑAL

3.3.9.2.1 Método de reconocimiento por identificación o identificación a través del reconocimiento de la señal de llamada

Tales técnicas permiten identificar una emisión y un transmisor con un solo parámetro de medición.

FORMACIÓN DE SEÑALES DE LLAMADA (INDICATIVOS DE LLAMADA)

La formación de señales de llamada se deriva de una serie internacional asignada a los países, de acuerdo con la tabla que se encuentra en el RR [17] Apéndice 42. Se puede encontrar información adicional relacionada con la formación de señales de llamada dentro de los varios servicios en la sección III del RR [17] artículo 19, así como en la Resolución 13 (Rev.WRC-97) [24]. Un ejemplo de estas transmisiones se da en la sección 3.3.9.7.

SISTEMAS DE RADIOTELEGRAFÍA

Las transmisiones pueden consistir en un canal individual, un sistema de división de tiempo, un sistema de multiplexación por división de tiempo, un sistema de división de frecuencia o una combinación de estos. En sistemas de canal individual, la señal de llamada puede ser transmitida en código Morse o en un código teleprinter, con el mismo tipo de modulación que se usa para el tráfico en ese canal en particular. Con frecuencia se utiliza la intercalación de bits (por ejemplo, TORG-10 o FEC-100). En sistemas de acceso múltiple por división de frecuencia, donde muchos canales de tráfico son radiados, a veces se hacen arreglos para que un canal sea utilizado por los ingenieros de circuitos.

Con frecuencia, este es el único canal que se utiliza con propósitos de identificación, especialmente si se hacen arreglos en los canales de tráfico para asegurar las comunicaciones utilizando dispositivos de encriptación o codificadores. Los canales de ingeniería usualmente se dejan abiertos.

SISTEMAS DE RADIOTELEFONÍA

El método más común de identificación es el de transmitir la señal de llamada hablando claramente; sin embargo, en la transmisión de telefonía de banda lateral única se puede utilizar el método de superponer la señal de llamada con modulación en amplitud de la portadora reducida con código Morse.

SISTEMA DE RADIO DE SERVICIOS MIXTOS

Un sistema mixto utiliza típicamente una emisión individual en banda lateral para uno o más canales de telégrafo, organizados en un sistema de multiplexación por división de tiempo o de frecuencia, y uno o más canales telefónicos modulando la misma portadora de radiofrecuencia en amplitud máxima, reducida o suprimida.

En canales de servicio mixto, cualquiera de los métodos indicados para la identificación de estaciones de telégrafo de multiplexación por división de tiempo o por división de frecuencia individual en banda lateral puede ser utilizado con propósitos de identificación.

3.3.9.2.2 Medición básica de la señal para la identificación de transmisores sin indicativo

Sin indicativo, la identificación puede realizarse localizando el transmisor. En algunos casos, demodular la señal podría ser una forma de identificarla. Sin embargo, los codificadores modernos a menudo son utilizados por los servicios móviles marítimos y militares, los cuales utilizan diversas técnicas, que básicamente consisten en reordenar el espectro de la conversación en tiempo y frecuencia. De esta manera, el equipo receptor estándar no permitirá una “conversación clara” que pueda escucharse sin un equipo especializado. Comúnmente, se utilizan técnicas criptográficas modernas y complejas en el equipo de transmisión y es difícil identificar la conversación original de la señal recibida.

Caracterizar una señal significa medir cada parámetro básico, como la frecuencia, modulación y todos los parámetros que se puedan utilizar para especificar la forma de la onda de la señal. En algunos casos, por ejemplo para una señal de este tipo, se puede utilizar un osciloscopio para obtener algún tipo de patrón reconocible, que pudiera ser identificado y catalogado para su uso futuro. Tal procedimiento es esencial para crear una base de datos de la señal detectada con el fin de facilitar su identificación en el futuro. Durante las observaciones de seguimiento, los parámetros (incluyendo la frecuencia, desplazamiento, tasa de baudios, señal portadora, grupo de usuarios, etc.) de cada señal detectada se pueden almacenar en archivos de computadora.

Esta base de datos (abstracciones para su presentación ante la UIT/BR, de acuerdo con el RR [17], artículo 16) se puede diseñar en el formato que se quiera. La búsqueda de espectro desocupado se convierte en algo muy simple y es también útil para la identificación de interferencias.

El artículo 5 del RR [17] (asignaciones de frecuencia), incluyendo las notas en el pie de página, una abstracción del IFL [25] y una lista de todas las estaciones conocidas que transmiten boletines de prensa son también ejemplos de los archivos de ayuda para elaborar la base de datos.

Se recomienda utilizar archivos automatizados, porque facilitan la búsqueda de ciertos elementos o hacer selecciones. Sin embargo, todavía existen “manuales” elaborados por

las organizaciones de monitoreo que contienen mucha información que no se puede almacenar fácilmente en archivos. Estos libros son muy útiles para propósitos de identificación.

EMISIONES TIPO BARRIDO Y RÁFAGA

Los pulsos de barrido, así como las transmisiones de ráfaga, son de interés por dos razones:

- Su uso cada vez mayor.
- En ocasiones, estas emisiones pueden ser fuentes de interferencia.

La identificación y medición por parte de las estaciones de monitoreo son necesarias para ayudar a resolver los problemas de interferencia causada por cualquiera de estas emisiones. Se requiere de técnicas e instalaciones especiales para recibir, medir e identificar las señales de este tipo, ya que pueden ser moduladas o barridas por la frecuencia de varias maneras.

En los últimos años se han encontrado varios tipos de sistemas que transmiten grandes cantidades de información en un periodo muy corto de tiempo, por lo general, en cuestión de unos segundos, en la frecuencia portadora constante. Algunos de estos sistemas de comunicación, tipo ráfaga, utilizan las mejores condiciones de propagación con el fin de transmitir rápidamente la información sobre un circuito normalmente malo. A menudo es difícil o imposible determinar, por medios auditivos, si una intercepción en particular en realidad contiene inteligencia, o si no es más que ruido.

Los estudios de los sistemas de ráfaga han demostrado que cuando una grabación inicial de la emisión se reproduce a una velocidad considerablemente más lenta, las características similares al ruido se vuelven reconocibles, como una señal audio de tono seguida por una serie de pulsos que representan inteligencia. Puede ser posible mostrar este tipo de señal en un osciloscopio y obtener algún tipo de patrón reconocible que pueda ser identificado y catalogado para su uso futuro.

MEDICIÓN DE LA TASA DE REPETICIÓN DE PULSOS

La tasa de repetición de una señal de modulación en pulsos puede determinarse con precisión usando un osciloscopio para ayudar en su identificación. La mayoría de los sistemas de pulsos de uso común, incluyendo radares, tienen tasas por debajo de 1000 por segundo en el rango de audiofrecuencia. Para medir con precisión una tasa de repetición de pulsos, se debe conectar la salida de audiofrecuencia del receptor de monitoreo, con el BFO apagado, al amplificador del eje vertical de un osciloscopio. Un oscilador de audiofrecuen-

cia se utiliza para conducir el amplificador del eje horizontal al mismo osciloscopio. Se produce un patrón elíptico a partir del cual se extiende una línea vertical "pico" o función de impulso.

Cuando la frecuencia de la audiofrecuencia del oscilador interpolante corresponde a la tasa del pulso, o a un armónico integral de la tasa, habrá un único pico que permanecerá estacionario. Debido al fuerte contenido armónico del pulso, habrá varias frecuencias del oscilador en las que se producirá un patrón de un solo pico. La tasa de pulsos será igual a la diferencia entre dos frecuencias sucesivas del oscilador en las cuales el patrón es estacionario.

Un segundo método para determinar la tasa de repetición de pulsos de las señales de modulación en pulsos es utilizar un analizador de espectro de barrido con una base de tiempo calibrada. Debe seleccionarse el rango de frecuencia correcta, un filtro de IF BW, filtro de video y tiempo de barrido, etc. La disminución del rango de frecuencias y el tiempo de barrido dará un resultado más preciso.

Algunos analizadores de espectro tienen un modo de recepción de AM y FM y utilizan la base de tiempo para exhibir las señales demoduladas en el dominio de tiempo. La tasa de repetición de pulsos se puede determinar visualmente y la forma del pulso puede ser también un indicador, para la identificación.

CONVERSACIÓN ENcriptada

Los inversores de voz en las transmisiones AM y SSB son fácilmente demodulados con solo seleccionar el modo de banda lateral opuesta a la utilizada en el transmisor.

Sin embargo, los codificadores de voz modernos los utilizan a menudo los servicios móviles marítimos y los militares, quienes usan varias técnicas, pero básicamente lo que hacen es reorganizar el espectro de la conversación en frecuencia y tiempo. De esta manera, un equipo receptor estándar no permitirá escuchar la conversación con claridad sin un equipo especializado y costoso. Comúnmente, se utilizan técnicas criptográficas modernas y complejas en equipos de transmisión y es difícil identificar la conversación original de la señal interceptada.

Con el fin de obtener una visión general, se debe utilizar un analizador de espectro o un receptor de frecuencia. Para despejar cualquier duda, se puede usar un radiogoniómetro o una antena directiva. También es posible usar dos receptores, uno en sintonía con la emisión fundamental y el otro con la emisión espuria sospechosa. Inicialmente, se realiza una comparación auditiva de las señales y la salida de audio de los receptores se conecta a las placas X y Y de un osciloscopio, respectivamente. Si las señales provienen del mismo transmisor, se formará una elipse en la pantalla del osciloscopio.

IDENTIFICACIÓN DE EMISIONES ESPURIAS

Un método para ayudar a detectar las emisiones espurias es el uso de dos receptores con un diseño interior completamente diferente. Cada receptor debe tener una combinación diferente de mezcla de frecuencias y diferentes frecuencias intermedias. De esta manera, si la señal espuria que es monitoreada tiene en ambos receptores, en su mayoría, idénticas características, se puede suponer que la señal espuria es externa al equipo y que es una interferencia "real".

3.3.9.3 ENFOQUE GENERAL DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE SEÑAL

La identificación, en términos del proceso de análisis de señales, puede describirse de acuerdo con el diagrama de la Figura 50. En el marco del monitoreo del espectro, el análisis de la señal se utiliza para asumir las siguientes tareas (en relación con la detección del espectro):

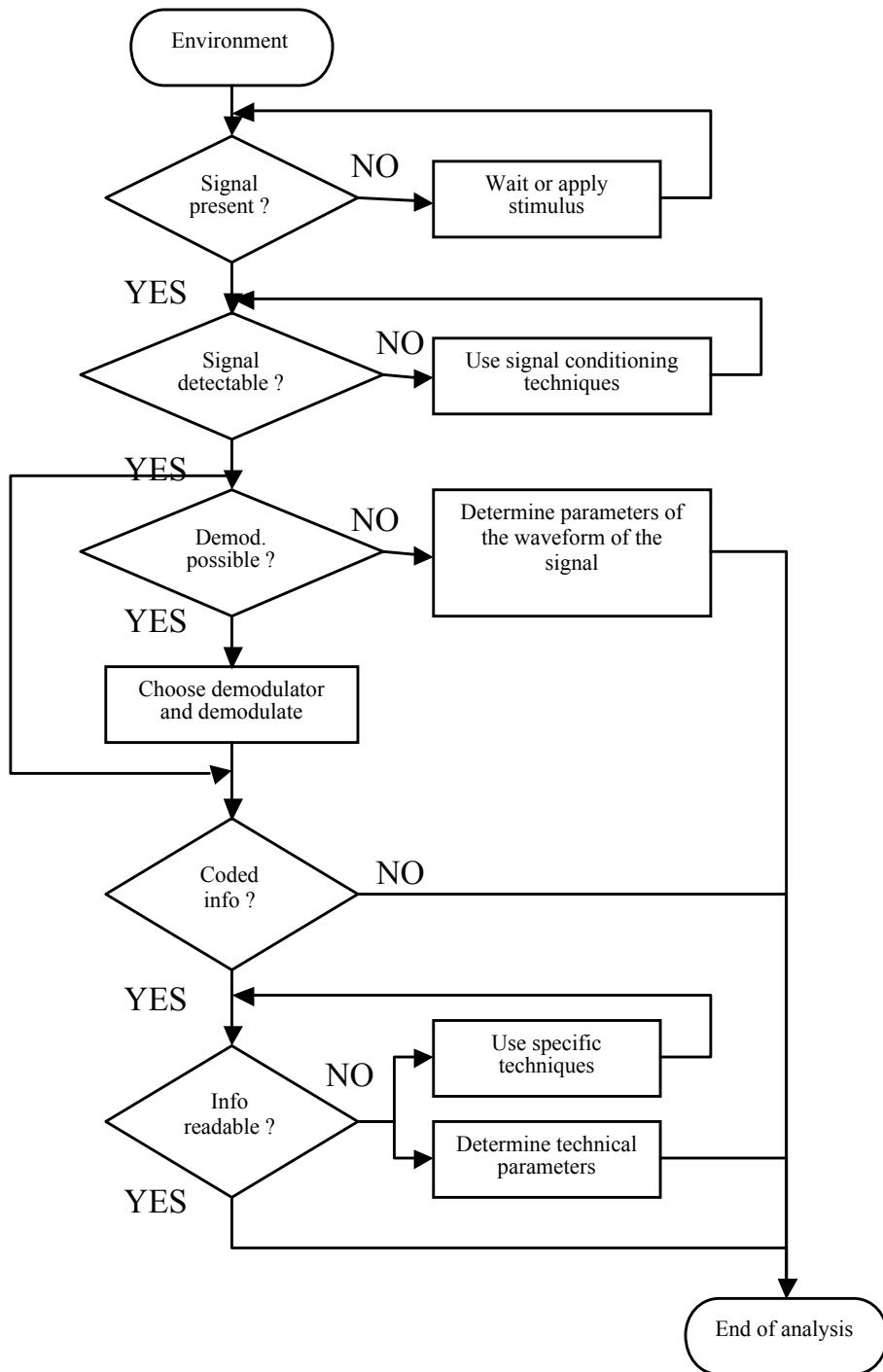
- Asignar un nombre si se trata de un sistema desconocido.
- Extraer información oculta si es posible.
- Determinar los parámetros de la señal si es necesario (si las opciones anteriores fallan).
- Determinar características de modulación (como la tasa de símbolo, cambio de frecuencia, modulación lineal/no lineal, tipo de modulación: análoga/digital, en fase, en frecuencia o modulación en amplitud, el número de estados de modulación, la constelación para modulación lineal).
- Sus características de tiempo (ondas en forma de ráfaga).
- Sus características espectrales (de banda estrecha/ancha, de portadora individual o múltiples portadoras, etc.).

El tiempo de inicio y parada y la duración de una emisión también se pueden utilizar para describir una señal. Teniendo en cuenta el diagrama de la Figura 50, el primer paso es identificar la señal para analizar y comprobar si la señal puede medirse fácilmente. El siguiente paso consiste en determinar si la señal puede ser demodulada y, si es el caso, si se puede aplicar el demodulador adecuado.

Posteriormente, se podría hacer el análisis de la información demodulada y podría ser necesaria una etapa de decodificación, para procesar los datos más a fondo. Esto significa, la extracción de la información de la secuencia de datos demodulada. Si la demodulación no es posible, la señal debe ser especificada por sus parámetros intrínsecos (frecuencia, ancho de banda, etc.).

FIGURA 50

Proceso de análisis de señales



Los dos primeros pasos del proceso de análisis de señales se ilustran con un ejemplo en la Figura 51, en donde se muestra una secuencia de tareas que podrían llevarse a cabo para distinguir una señal de banda estrecha de una señal de banda ancha. Esto se realiza por medio de herramientas dedicadas al análisis de señales que se detallan a continuación.

3.3.9.4 CONSIDERACIONES EN CUANTO A LAS CAPACIDADES DE UN SISTEMA PARA REALIZAR ANÁLISIS DE SEÑALES

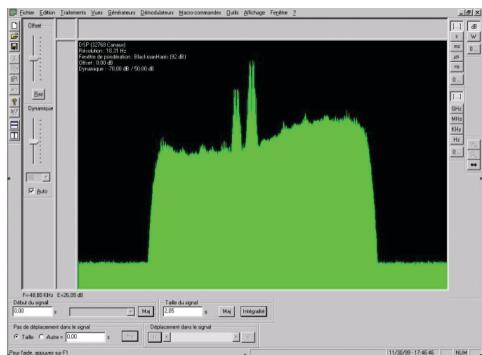
Un resumen de los requisitos es el siguiente:

- Modularidad de hardware y software.
- Utilización de normas generales (por ejemplo, PCI, estándar de enlaces DSP, LAN, LXI).
- Capacidad en tiempo real, cuando esté permitido trabajar con sistemas de funcionamiento en tiempo real de funcionamiento y sistemas operativos DSP.
- La capacidad de doble canal puede ser necesaria, para algunas aplicaciones (por ejemplo, para el proceso de correlación).
- Componentes y algoritmos de procesamiento de señales optimizados para rangos de frecuencia específicos, como HF, VHF/UHF o SHF.
- Capacidad para grabar señales de banda ancha y/o señales de banda estrecha; el ancho de banda de la señal y la duración de la grabación determinan las características técnicas del sistema, por ejemplo, el tamaño de la memoria.
- Control remoto desde una estación de trabajo con interfaz de usuario potente y reconfigurable.
- Opcionalmente, una conexión de baja velocidad, por ejemplo, a través de una línea telefónica adaptada a las necesidades de los usuarios.
- Posibilidades de interfaz con los equipos existentes como receptores y grabadoras.
- Entrenamiento por parte del proveedor.
- Software que pueda ser expandido por el usuario y el fabricante cuando sea necesario.

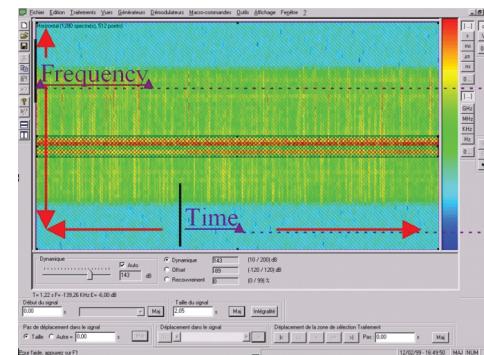
Algunas herramientas de análisis no pueden trabajar en tiempo real debido al procesamiento que se requiere. Otras herramientas exigen mucho tiempo de ajuste manual, que no es deseable cuando la señal se produce solo de manera incidental. Por tanto, es necesario contar con algún dispositivo de grabación que permita grabar la señal, ya sea esta de banda ancha o de banda estrecha. Los factores más importantes de estos dispositivos de grabación son el ancho de banda, el rango dinámico y el tiempo máximo de grabación que no requiera de atención. Otra razón para el uso de grabadoras, es el hecho que no todos los sistemas de análisis de señal son portátiles lo que, en ocasiones, puede ser necesario.

FIGURA 51

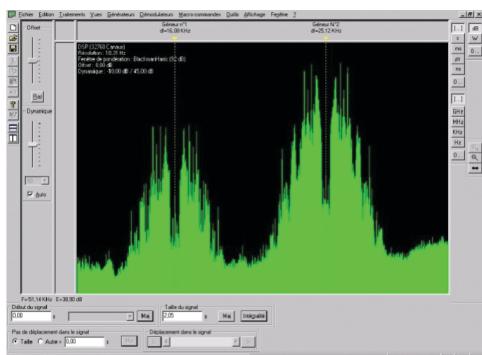
Ejemplo de extracción de una señal de banda estrecha de una señal de banda ancha



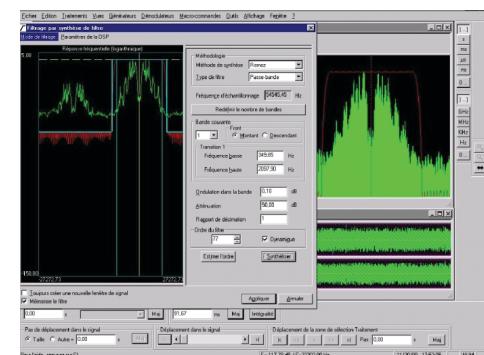
Paso 1: Encontrar señales de banda estrecha en la imagen de la banda ancha.



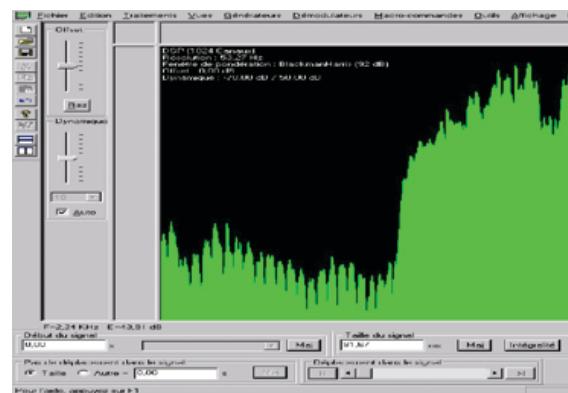
Paso 2: Analizar la persistencia de la señal usando de un espectrograma.



Paso 3: Ver las señales extraídas de la banda base (dos señales).



Paso 4: Diseñar un filtro digital para mediciones posteriores sobre una sola señal.



Paso 5: Representación final del espectro de la señal filtrada.

3.3.9.5 HERRAMIENTAS PARA EL ANÁLISIS DE SEÑALES

Las tareas en el proceso de análisis de señales se podrían aplicar ya sea a través de una operación manual o mediante el uso de un sistema automatizado. Esta última solución debe ser abierta y flexible en cuanto a su hardware, arquitectura y funcionalidades, con el fin de adaptar su capacidad de análisis de señales a nuevas señales y técnicas.

En la práctica, el punto de partida para el análisis de una señal con el fin de identificarla es, por lo general, la medición de la frecuencia. La identificación de señales y las técnicas de medición deben basarse en las representaciones adecuadas de la muestra de la señal. En la interfaz se deben implementar herramientas y facilidades, como zoom, copiar/pegar en los dominios de tiempo y frecuencia. Un ejemplo se muestra en la Figura 51. Estas herramientas son especialmente adecuadas para aislar la señal que se va a analizar.

En la Figura 52, la representación y análisis del espectro de la señal ayudan a clasificar la señal, examinando las portadoras y subportadoras. Por ejemplo, se puede utilizar una función de comparación de espectro, para realizar una identificación automática de los sistemas de comunicación con un espectro definido.

Para realizar una búsqueda automatizada de las portadores y realizar su conteo, al igual que para la medición del ancho de banda de la emisión, es posible utilizar una pantalla de alta resolución espectral y diferentes algoritmos de búsqueda. Se recomienda una representación panorámica de la señal con resolución espectral y tiempo de integración variables. Una combinación de tiempo y representación de tiempo espectral de las señales ayuda en la identificación y medición de señales de ráfaga.

Con estas herramientas es fácil extraer información básica derivada directamente de la forma espectral de la señal (en frecuencia y dominio de tiempo). Sin embargo, algunas de ellas requieren herramientas de procesamiento más avanzadas que, en esencia, consisten en herramientas matemáticas que se describen en los párrafos siguientes.

En el resto de este apartado se presentarán las diferencias entre los parámetros básicos y avanzados. Los parámetros básicos se definen como los parámetros a partir de los cuales se podría deducir la forma espectral de la señal sin demodular y los avanzados están relacionados con los parámetros disponibles después de la demodulación de la señal.

3.3.9.5.1 Determinación de parámetros básicos de la señal

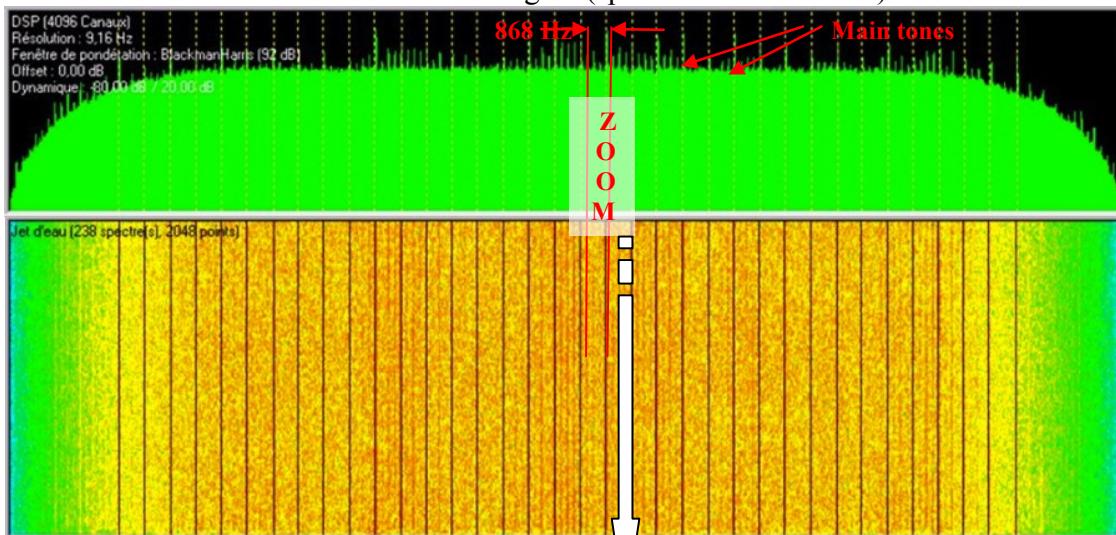
Aunque los parámetros básicos de la señal pueden determinarse por medios gráficos, como se describió anteriormente, algunas de las herramientas matemáticas también pueden utilizarse, algunas de ellas se presentan en esta sección.

Una técnica podría ser la estimación de los momentos de orden 2 y 4 de la señal. Esto permite una determinación precisa de la tasa símbolo de las portadoras y tasas de chip de señales regulares de una sola portadora, multiportadoras, y señales de pseudoruido/CDMA.

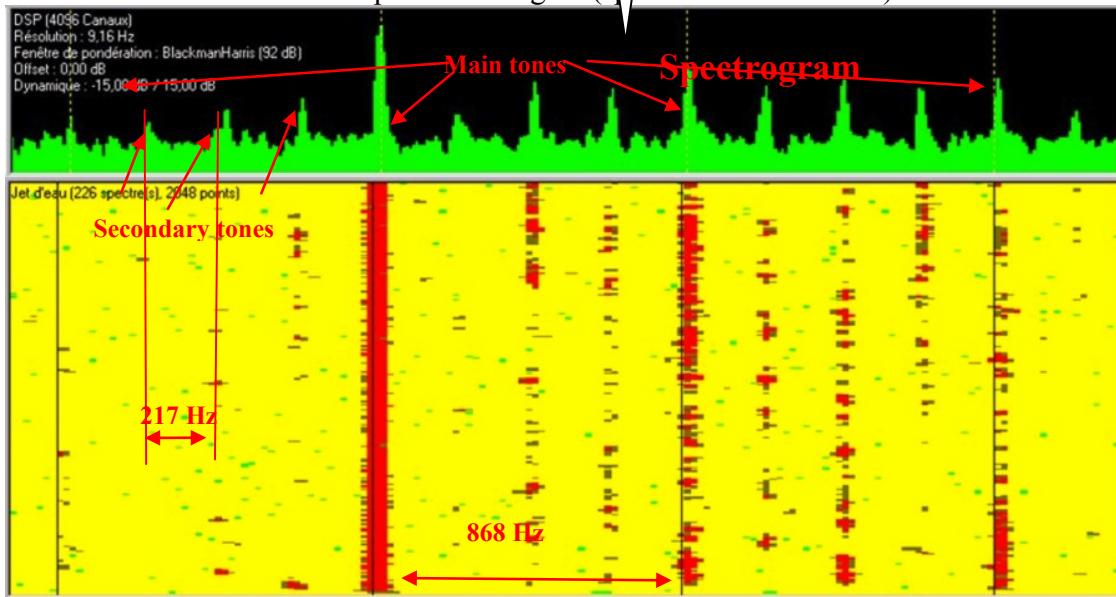
FIGURA 52

Ejemplos de interfaces específicas para apoyar el análisis, identificación y medición

Overview of the full signal (spectral and time view)



Zoom of a part of the signal (spectral and time view)



Una señal de modulación digital se identifica, en la mayoría de los casos, mediante la determinación de sus características técnicas, por ejemplo, la duración del símbolo T_S , el tiempo de guarda T_g y el número de subportadoras. Estos temas se discuten en la sección 3.3.4. Frente a las señales de banda ancha o complejas, estas técnicas “ciegas” proporcionan elementos de identificación muy útiles para su análisis posterior.

Un ejemplo de una operación de análisis de señales para determinar los parámetros básicos, utilizando una caracterización de señal con salto de frecuencia, se ilustra en la Figura 53, que muestra la capacidad de análisis en el dominio de tiempo, para discriminar dos señales con patrones de salto de frecuencia distintos. Cada patrón (flechas rojas y azules) ha sido identificado. Esta operación también puede realizarse de forma automática.

Después de un análisis de este tipo es posible verificar la conformidad entre una norma y la señal demodulada mediante un demodulador convencional. Si no es posible demodular la señal, los parámetros como frecuencia instantánea, amplitud y fase se pueden utilizar para hacer una descripción técnica de la señal.

Por ejemplo, una señal de radar puede describirse por su señal de tiempo y salto de frecuencia (tiempo y frecuencia). Algunos métodos para la extracción de la frecuencia central, la velocidad de símbolo y otros parámetros técnicos de señales digitales se resumen en la Tabla 10. Estos parámetros también se pueden utilizar para clasificar las convenciones no digitales de las señales.

FIGURA 53
Ejemplo de caracterización de señal con salto de frecuencia

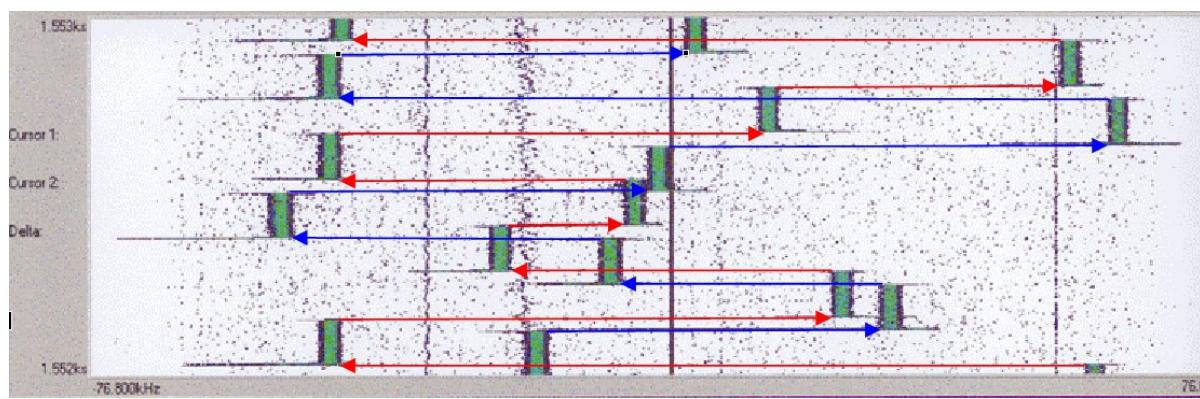


TABLA 10

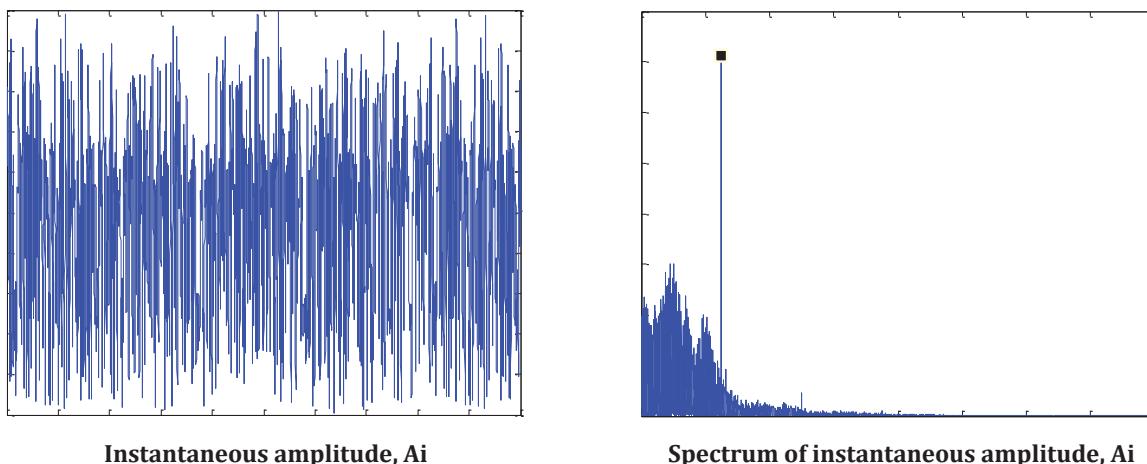
Algunos métodos para extraer información técnica de acuerdo con la modulación de la señal analizada

Parámetros a medir	Herramientas de análisis	Tipo de modulación
PRF o longitud de la ráfaga	Amplitud de señal de tiempo	Radar, OOK
Presencia de señal	Correlación cruzada de amplitud instantánea A_i con la señal de referencia	Cualquier tipo de modulación, pero especialmente para las señales de DSSS
	Densidad de potencia espectral	Cualquier tipo de modulación
Modulación - tasa de modulación síncrona o asíncrona (Velocidad de símbolo)	Histograma de la duración de la amplitud instantánea, A_i , - frecuencia instantánea, F_i , y fase instantánea, Φ_i	OOK, FSK sin filtrar, PSK sin filtrar
	Espectro de amplitud instantánea, A_i	PSK filtrada o sin filtrar CPM sin filtrar o después de filtrado severo QAM filtrada o no
	Espectro de la frecuencia instantánea, F_i elevado a N potencia N ($= 2$ (2FSK), 4 (4FSK))	FSK sin filtrar
	Espectro de cruce cero en frecuencia instantánea, F_i	FSK filtrada o no PSK, QAM, MSK
	Espectro del módulo de la señal elevado a la potencia N ($= 2$ o 4)	PSK y QAM filtrada o no
	Espectro del módulo de la señal elevado a la potencia N después de filtrado severo en frecuencia	FSK filtrada o no
	Espectro de la señal elevado con potencia N ($N = 1/h$)	CPM filtrada o no
Frecuencia portadora Frecuencias sub-portadoras	Densidad de potencia espectral	Cualquier tipo de modulación
	Histograma de la frecuencia instantánea, F_i	FSK
	Promedio de la frecuencia instantánea, F_i	FSK
	Espectro elevado a la potencia N ($= 2$ (PSK), 4 (QAM) o $1/h$ para CPM)	PSK, QAM, CPM
	Correlación del espectro y el método de momentos	ASK, PSK, QAM
Ancho de banda de la emisión	Densidad de potencia espectral En comparación con la máscara o la función de la línea límite	Cualquier tipo de modulación
Separación de Frecuencia entre sub-portadoras (Cambio para FSK)	Densidad espectral de potencia Búsqueda armónica y/o marcadores armónicos	FSK, OFDM, COFDM
	Histograma de la frecuencia instantánea, F_i	FSK, OFDM, COFDM

Para ilustrar el contenido de la Tabla 10, la velocidad del símbolo de una señal en QAM se puede determinar mediante el espectro de la amplitud instantánea A_i . Los siguientes gráficos ilustran los resultados de la estimación de la velocidad de símbolo de una señal QAM (en este caso 16-QAM y una velocidad de símbolo de 62,5 kHz).

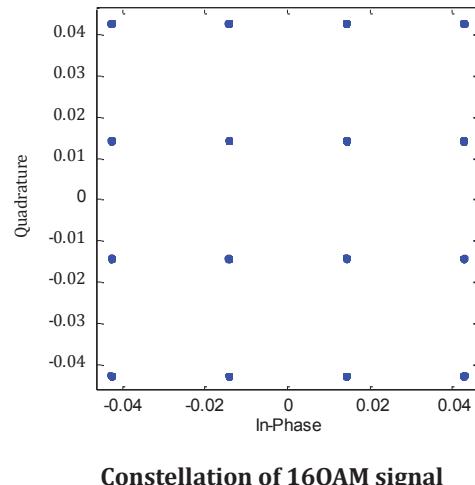
FIGURA 54

Ejemplo de la determinación la velocidad de símbolo de una señal 16QAM por su amplitud instantánea



Instantaneous amplitude, A_i

Spectrum of instantaneous amplitude, A_i

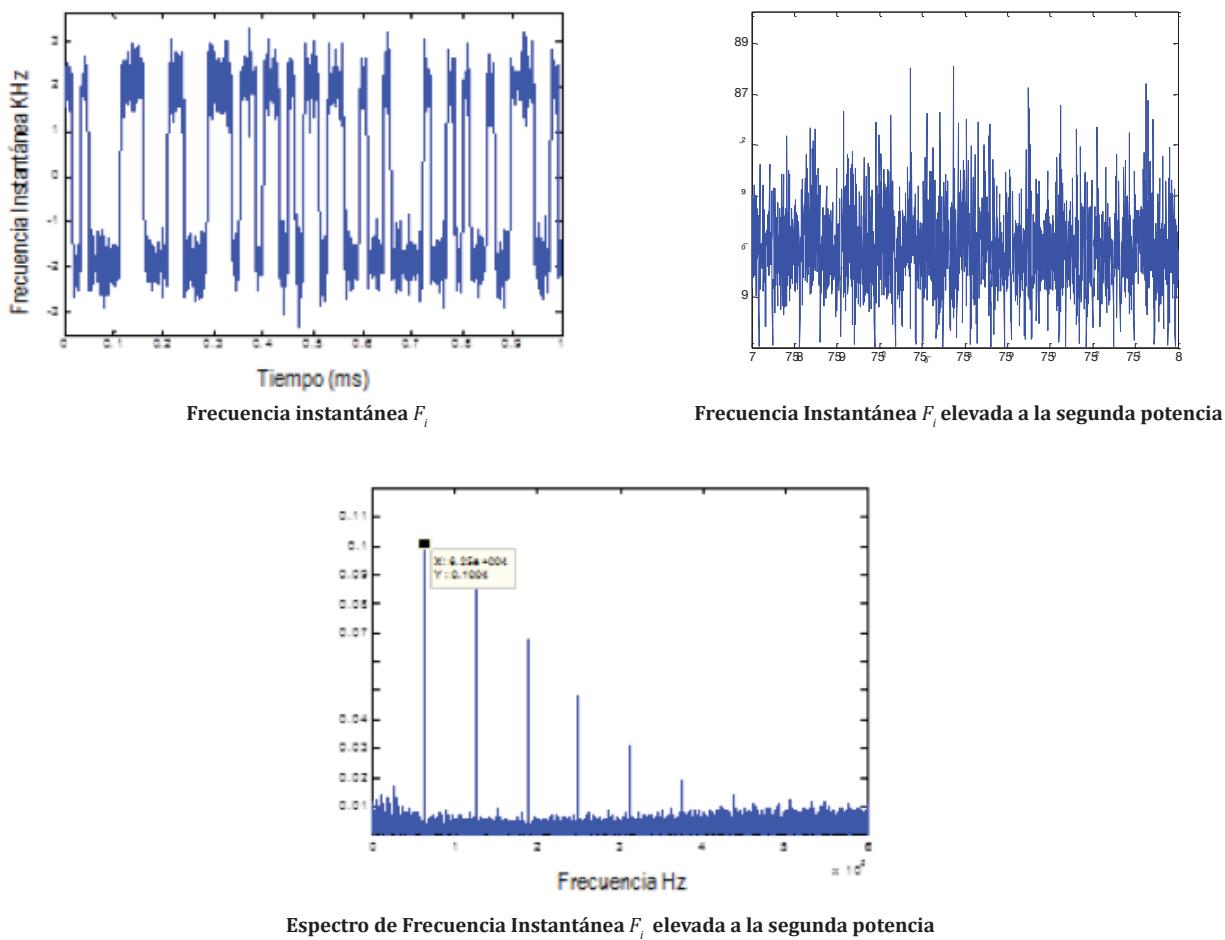


Constellation of 16QAM signal

La Figura 55 proporciona un ejemplo donde se obtiene la tasa de símbolo de 62.5 kHz para una señal FSK, a partir de la frecuencia instantánea F_i elevada a la segunda potencia.

FIGURA 55

Ejemplo de la determinación de la velocidad de símbolo de una señal 2 FSK por su frecuencia instantánea elevada a la segunda potencia



3.3.9.5.2 Determinación de parámetros de la señal avanzada

Para la caracterización del esquema de modulación de la señal, los siguientes métodos/herramientas se pueden utilizar (después de haber determinado la frecuencia portadora y el comportamiento temporal de la señal):

- Una visualización de la sincronización del símbolo como un diagrama de ojo y/o constelación del diagrama de fase según el tipo de modulación.
- Una representación polar de los tipos de modulación lineal (validación de la sincronización, la determinación de los puntos de la constelación y las transiciones entre símbolos).
- Histogramas para las modulaciones de fase y frecuencia (validación de la sincronización, la determinación del número de subportadoras).

Algunos de los algoritmos para la estimación de parámetros de modulación digital se resumen en la Tabla 11. Hay que tener en cuenta que muchos de estos métodos también son útiles para caracterizar las señales análogas.

TABLA 11

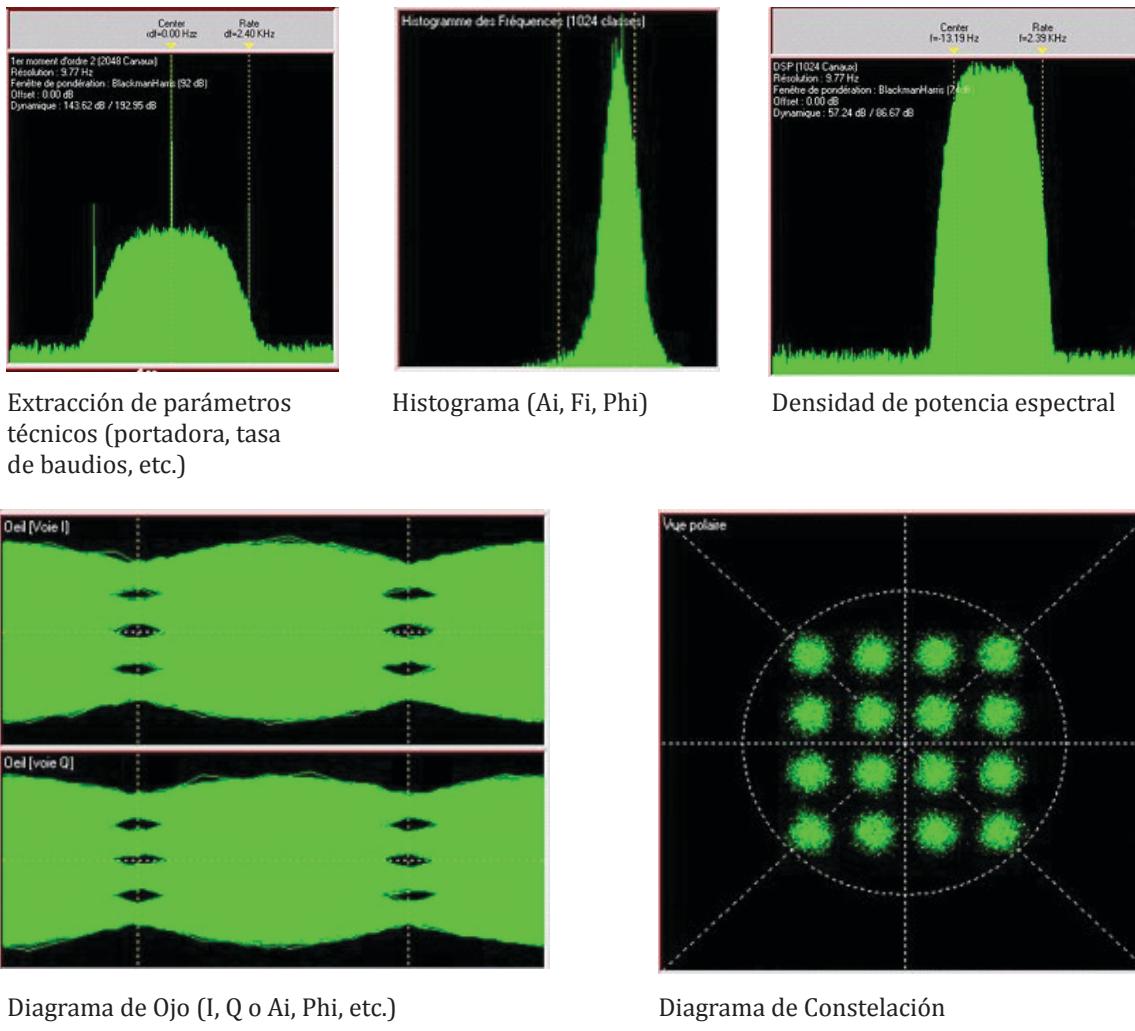
*Algunos métodos para determinar parámetros avanzados
de la señal dependiendo de la modulación de la señal analizada*

Parámetros a medir	Herramientas de análisis	Tipo de modulación
Número de estados	Diagrama de constelación/diagrama vectorial	PSK, SQPSK, p/2 DBPSK, $\pi/4$ DQPSK, QAM
	Histograma de amplitud instantánea, A_i	OOK, ASK
	Histograma de frecuencia instantánea, F_i	FSK
	Histograma de fase instantánea, Φ_i	PSK
	Densidad de potencia espectral	OFDM, COFDM, multiplexación
Número de subportadoras o tonos	Densidad de potencia espectral	Cualquier modulación
	Histograma de frecuencia instantánea, F_i	FSK
Sincronización de símbolo	Diagrama de Ojo I/Q, A_i/F_i + diagrama vectorial	PSK & QAM filtrado o no
	Diagrama de Ojo A_i/F_i + histograma de visualización de frecuencia, F_i	FSK filtrada o no
	Diagrama de constelación - visualización de la frecuencia, F_i y fase, Φ_i	CPM filtrada o no

A modo de ejemplo, la Figura 56 ilustra la extracción de los parámetros de modulación y la caracterización de la modulación para una señal en QAM 16.

FIGURA 56

Ejemplos de una caracterización completa de una señal digital



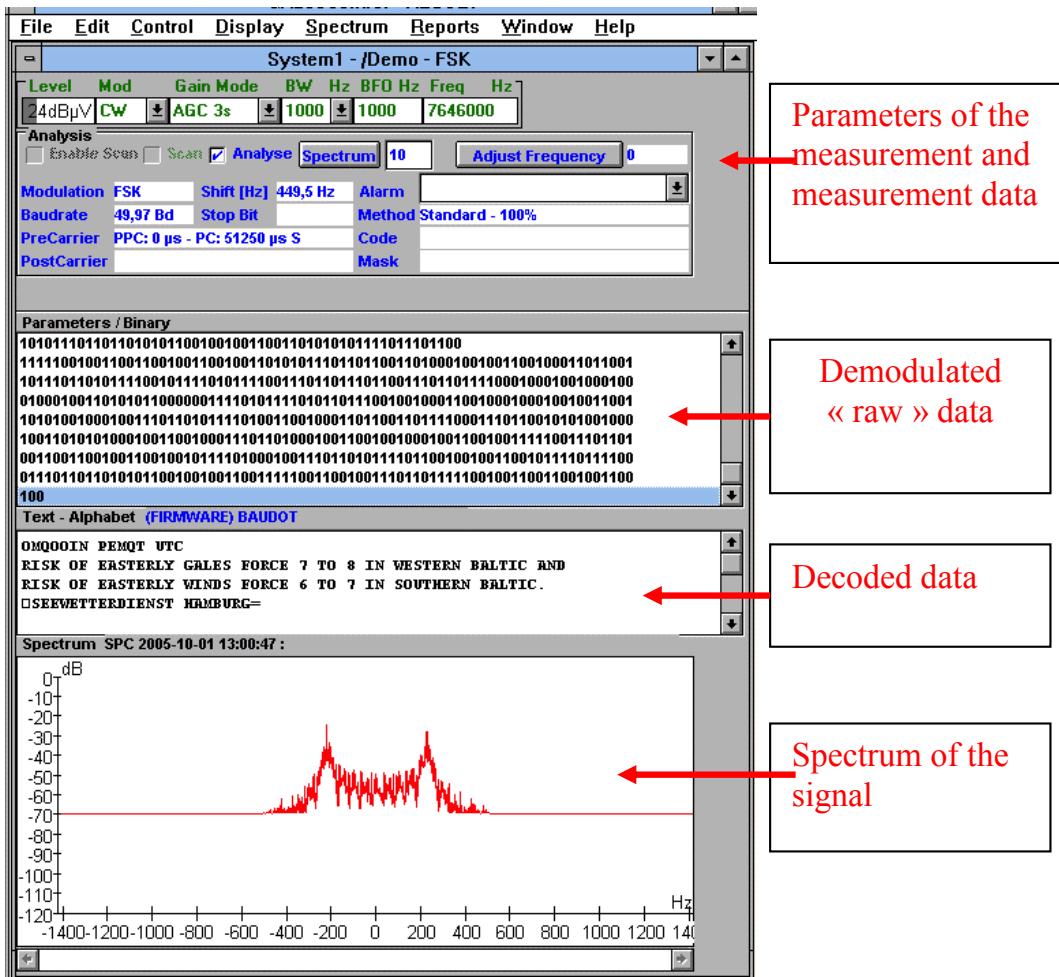
3.3.9.5.3 Demodulación y decodificación

Uno de los últimos pasos es la extracción de la información real. Un demodulador debe tener un analizador de flujo de bits que aplique técnicas de correlación sobre el flujo de bits para determinar el esquema de codificación utilizado. El flujo de bits debe ser trazado a diferentes unidades de información como un alfabeto.

La Figura 57 presenta un ejemplo de un demodulador digital, que muestra un analizador de flujo de bits para uno de los tipos de modulación más convencionales (FSK).

FIGURA 57

Ejemplo de un demodulador digital con analizador de flujo de bits y decodificador



3.3.9.5.4 Intercorrelación con una señal de prueba

Otra forma eficiente de identificar y medir las señales es la utilización de técnicas de intercorrelación con señales de prueba y las funciones de búsqueda adquiridas mediante la intercorrelación. El valor pico de la intercorrelación de la señal analizada con una señal de prueba, permite detectar la presencia de la señal de prueba dentro de la señal analizada. Se puede obtener fácilmente información adicional, como la estimación de la respuesta al impulso del canal, la verificación de la calidad de demodulación e información sobre el canal u ocupación por intervalos de tiempo. El método también se puede utilizar en secuencias de sin-

cronización o secuencias piloto para propósitos de decodificación e identificación. Se puede utilizar una señal de prueba de una base de datos o se puede generar una señal de prueba utilizando una señal de referencia. Este tipo de técnicas también se pueden aplicar a sistemas convencionales (análogos).

3.3.9.5.5 Técnicas de correlación cruzada para el análisis de la interferencia

El método de correlación cruzada, implementado en un sistema de análisis de señales puede emplearse para investigar cómo se forma la interferencia y para identificar sus fuentes. Un esquema simplificado se presenta en la Figura 58.

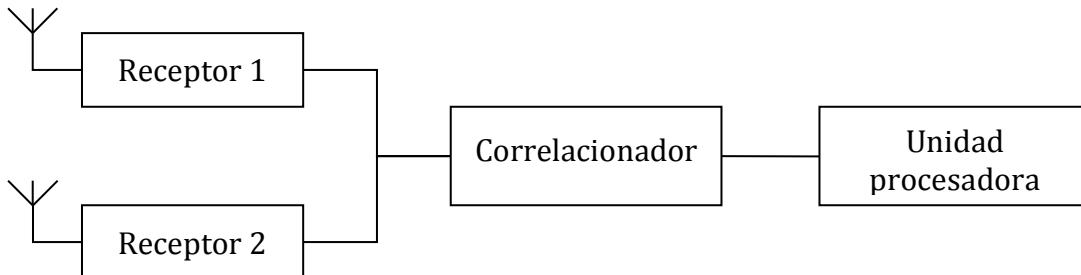
Un correlacionador realiza el proceso de correlación cruzada. Se utilizan dos receptores separados, uno se ajusta a la señal interferida y el otro a la interferencia sospechosa. Mediante el cálculo de los coeficientes de correlación entre las señales de IF o de las señales demoduladas se puede identificar la interferencia.

Se pueden detectar los siguientes tipos de interferencia:

- Emisiones espurias.
- Emisiones de intermodulación.
- Canales espurios y de intermodulación de un receptor.
- Los efectos de bloqueo y modulación cruzada.
- Interferencia del canal adyacente.

Las técnicas de correlación no solo son aplicables en la investigación de casos de interferencia, sino también para las tareas de monitoreo.

FIGURA 58
Correlacionador cruzado para el análisis de interferencia



3.3.9.5.6 Técnicas de filtrado adaptativo para la separación de fuentes de las señales en TDMA y CDMA

La aplicación de las técnicas de adaptación permiten, en un contexto de múltiples fuentes y en condiciones severas de interferencia, llevar a cabo la sincronización de los canales de tráfico y señales en TDMA y CDMA, así como la medición del nivel y tasas C/I en estas señales, junto con la demodulación y decodificación de los mensajes contenidos en los canales de señalización, permitiendo su identificación.

Un ejemplo real se da en las figuras 59 a) y 59 b), para las señales de tráfico GSM. La Figura 59 muestra que es posible detectar las señales y obtener la identidad de las fuentes incluso con bajas tasas C/I, de aproximadamente 16 dB en el caso de la señal indicada como canal de tráfico 4 (TCH4 (BS2)). En este ejemplo, TCH4 ha sido identificado como el canal de tráfico interferido.

La identificación del canal de tráfico interferido se realiza utilizando la información extraída de la respectiva estación base de los canales de radiodifusión.

La Figura 59 b) muestra una demodulación y decodificación exitosas para una fuente recibida con una relación C/I muy negativa, de alrededor de 16 dB y un nivel de señal de -103 dBm. Las técnicas adaptativas son especialmente adecuadas y eficaces en situaciones difíciles de interferencia, tanto para las señales continuas y ráfagas, como para la propagación en entornos urbanos densos, reutilización intensiva de frecuencias en las redes, errores en la ingeniería de red, etc.

3.3.9.5.7 Medidas de la densidad del flujo de potencia por debajo del piso de ruido

INTRODUCCIÓN

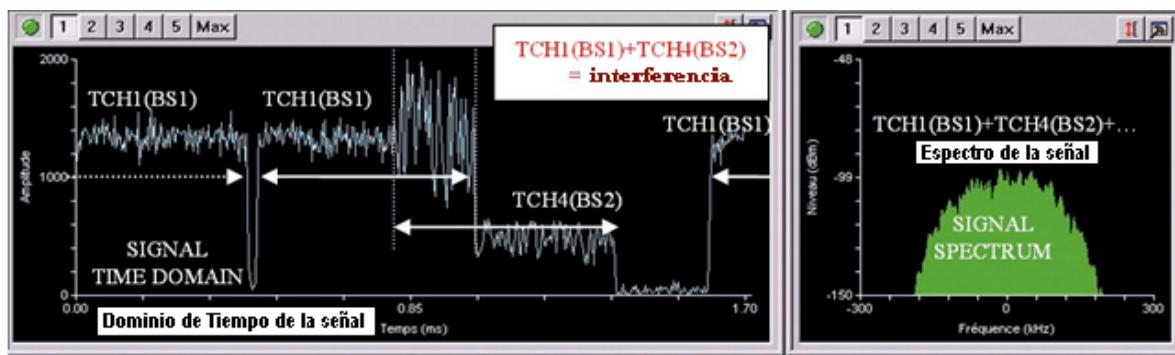
Existen servicios pasivos que requieren ser protegidos de las emisiones no deseadas por debajo del piso de ruido, ya que sus observaciones ocurren en niveles densos de flujo de potencia (PFD), por debajo del piso de ruido. Por lo tanto, los servicios pasivos, tales como el servicio de radioastronomía, utilizan las técnicas de múltiples sondas de medida que, cuando se almacenan, se procesan de tal manera que el ruido aleatorio se anula, mientras que las señales deseadas aparecen como resultado de la disminución del ruido. Por esta razón, los límites de PFD por debajo del piso de ruido han sido acordados a nivel internacional.

No obstante, las partes interesadas, como los radio astrónomos, alegan que la radioastronomía “se quedaría ciega” si no se hace un seguimiento a la interferencia y no se adoptan las medidas necesarias. En consecuencia, el seguimiento, en especial el monitoreo satelital, tiene que utilizar técnicas similares para descubrir la interferencia oculta en el ruido.

FIGURA 59

Ilustración de los resultados obtenidos en el análisis de interferencia y separación de fuentes de canales de tráfico (TCH) GSM, utilizando técnicas adaptativas en señales GSM en áreas urbanas

a) Ejemplo de una situación de interferencia en una frecuencia de canal de tráfico (TCH) GSM



Visualización en el dominio del tiempo

Vista panorámica

Donde:

- TCH1(BS1): Canal de Tráfico 1 de estación base BS1
- TCH4(BS2): Canal de Tráfico 4 de estación base BS2

b) Resultado del análisis de la interferencia por filtrado adaptativo



Identificación de la fuente de emisión

Canal	FU	TBC	Nivel (dBm)	C/I (dB)
TCH1	11	1	-78.0	18.1
TCH2	11	0	-88.2	-4.0
TCH3	11	1	-78.5	18.7
TCH4	11	0	-104.5	-5.6
TCH5	11	4	-87.4	6.3

Canal de tráfico detectado

PRINCIPIO

Con el fin de monitorear una señal deseada por debajo del piso de ruido, se debe tomar una serie que contenga un número alto de espectros (por ejemplo, en el orden de decenas de miles), en los que esté presente la señal deseada y posteriormente digitalizarla, almacenarla y promediarla.

La misma cantidad de espectros que no comprenden la señal deseada, pero que contienen el mismo tipo de ruido aleatorio, también se debe tomar, digitalizar, almacenar y promediar, pero invertido. Las dos series diferentes de espectros se pueden obtener ya sea cambiando la dirección de la antena o, si la señal deseada es de tipo ráfaga, tomándolas durante y fuera de tiempo. En esos dos espectros resultantes, el ruido procesado habrá sido considerablemente suprimido. Cuando se procesan también estos dos espectros, se compensan otras señales de origen desconocido debido al procedimiento de inversión antes mencionado. Más información acerca de esta técnica está disponible en la Recomendación UIT-R SM.1681 [36].

3.3.9.6 ANÁLISIS DE SEÑALES CON EL FIN DE IDENTIFICAR LAS SEÑALES TRANSMITIDAS

Luego de la descripción de las herramientas para el análisis de señales, la siguiente sección presenta información más detallada sobre el proceso de análisis de señales para identificar una señal transmitida. Estas técnicas no son necesarias en todos los casos, pero pueden ser muy útiles para la identificación de las señales digitales complejas.

3.3.9.6.1 El equipo requerido

Un centro de monitoreo internacional, en general, posee los medios electrónicos que permiten medir y registrar las emisiones y los transmisores que se quiere identificar

También, para fines de identificación, las estaciones de monitoreo deben estar equipadas con buenos receptores de comunicación y medición que reciban HF, VHF, UHF y bandas aun mayores en el espectro de frecuencias. Muchas de las funciones de los decodificadores se pueden combinar en un programa de software. El software está disponible para analizar y decodificar muchos tipos de emisiones (unos 30 tipos diferentes), por medio de un conversor análogo/digital conectado a la salida del receptor (AF, IF o I/Q, dependiendo de si el software incluye o no reconocimiento de demodulación automática).

En el mercado existen herramientas de análisis en tiempo real en línea, así como fuera de línea.

Los sistemas en tiempo real en línea incluyen:

- Decodificadores específicos para un pequeño número de códigos.
- Decodificadores paramétricos o decodificadores de demodulador, con o sin capacidades de medición.
- Demoduladores/decodificadores con capacidades de medición y reconocimiento.

Cuando falla el análisis en tiempo real, los operadores necesitan procesar la señal con las herramientas de análisis fuera de línea, que pueden incluir:

- Herramientas de análisis de señales (dominio de tiempo, dominio de frecuencia, demoduladores programables de dominio de fase).
- Análisis de flujo de bits, es decir, las herramientas para tratar de "romper" la estructura del código y determinar las letras del alfabeto.
- Se pueden utilizar métodos basados en operaciones matemáticas para la descripción de códigos, que son utilizados luego para programar un decodificador programable para futura decodificación en línea.

Si la decodificación y la selección del alfabeto tienen éxito, el operador será capaz de obtener un texto que es cada vez más encriptado, excepto en algunas ocasiones durante la transmisión de la identificación.

3.3.9.6.2 La práctica de la identificación

Dependiendo de si el transmisor utiliza o no el indicativo de llamada u otros medios de identificación, se pueden utilizar varios métodos con fines de identificación:

- Cuando ningún medio de identificación es utilizado por la transmisión, se puede usar el método de identificación paramétrica. Dicha identificación consiste en la medición de los parámetros de la señal transmitida: los parámetros de modulación, E.I.R.P., la frecuencia portadora, etc., y la dirección de llegada de la señal o la posición del emisor.
- Cuando ningún medio de identificación es utilizado por la transmisión se puede usar el modo de ayuda de identificación de señal. Dicha identificación consiste en realizar una comparación de la estructura y las características de la transmisión con el modelo en una base de datos.
- Cuando los medios de identificación son utilizados por la transmisión, se puede usar el método de identificador de reconocimiento. Dicha identificación consiste en decodificar la información transmitida como parte de la señal, por ejemplo, indicativo de llamada, nombre de la estación, identificador del servicio móvil marítimo, etc., como se describe en la sección 3.3.9.2.

Estos métodos suponen que la transmisión se ha adquirido y está disponible para el análisis. Sin embargo, en muchos casos de interferencia y otros temas de interés para el servicio de monitoreo, la transmisión puede ser intermitente o puede que su frecuencia exacta no se conozca, por lo que la transmisión puede no ser de fácil acceso. En estos casos puede ser

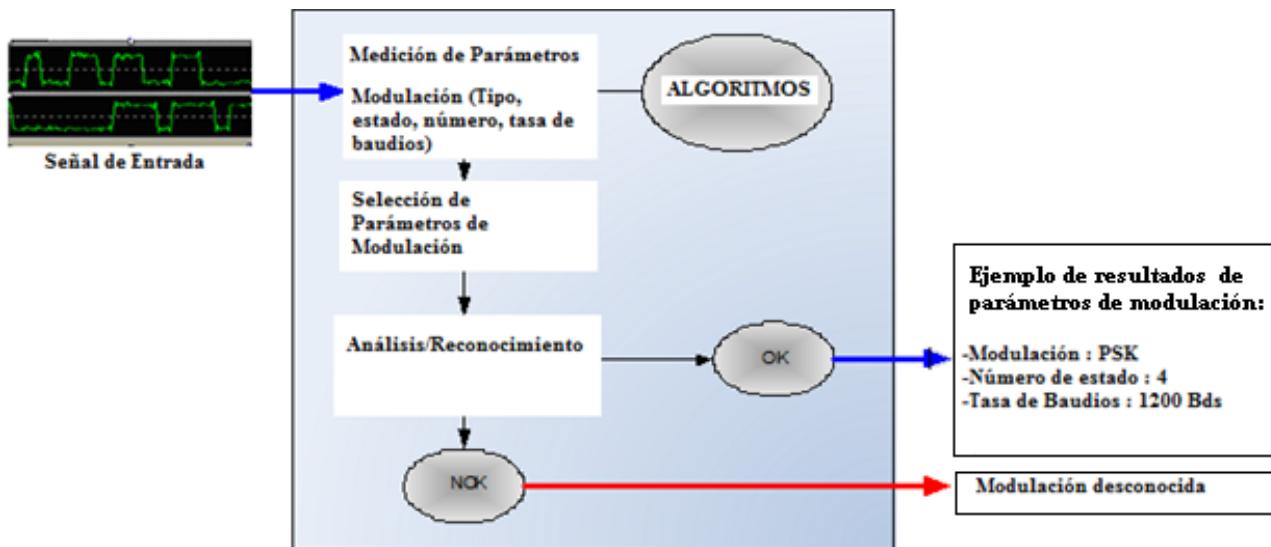
necesario el uso de equipos de grabación como los mencionados en la sección 3.3.9.6.1, para grabar un gran ancho de banda del espectro que se presuma incluya la transmisión de interés, y un operador capacitado pueda realizar el análisis posterior.

3.3.9.6.2.1 Identificación paramétrica

La identificación paramétrica se refiere a los parámetros de una señal. Una identificación del nivel de los parámetros relativos a los sistemas públicos se puede realizar en tres pasos, como se muestra en la Figura 60:

- Los parámetros técnicos de modulación se miden mediante los métodos descritos en la sección 3.3.4 para las señales análogas y digitales.
- A continuación, cuando todos los parámetros se han determinado, se realiza un análisis para reconocer la modulación a partir de una lista de posibles candidatos.
- Una vez que el tipo de modulación se reconoce, se procede a demodular la señal, utilizando los parámetros estimados de modulación. La señal demodulada puede entonces ser utilizada para el reconocimiento de las características de audio o códigos digitales.

FIGURA 60
Diagrama de flujo de identificación paramétrica



LIMITACIONES DE LA IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA

El método de identificación paramétrica tiene varias limitaciones, porque su resultado es una lista de parámetros técnicos sin ninguna indicación sobre el tipo de sistema involucrado (celular, aeronáutico, etc.).

Este inconveniente se ilustra en la Figura 61, para el caso de una señal VOR (VHF Rango Omnidireccional, VHF para la radio navegación aeronáutica). Una señal VOR consta de tres subportadoras, cada una de ellas con diferentes esquemas de modulación. Para este tipo de señales, la identificación paramétrica solo caracteriza las tres señales, pero no es capaz de identificar el sistema como sistema VOR.

Como primer paso, el hecho de que las tres emisiones pertenezcan a la misma emisión se puede demostrar mediante el uso de grabadoras de espectro o buscadores de dirección de banda estrecha o banda ancha. Señales con el mismo azimut y simultánea de encendido/apagado sugieren un origen común. Como segundo paso, con este conocimiento, el proceso de identificación puede continuar.

FIGURA 61
Identificación de señal VOR

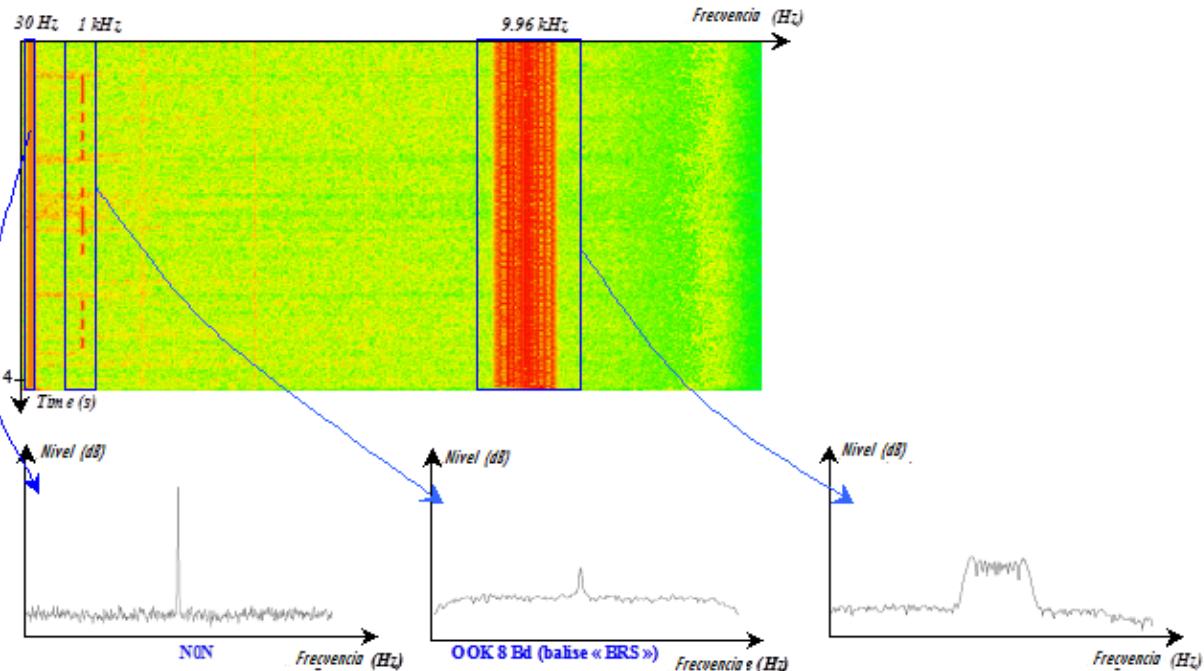
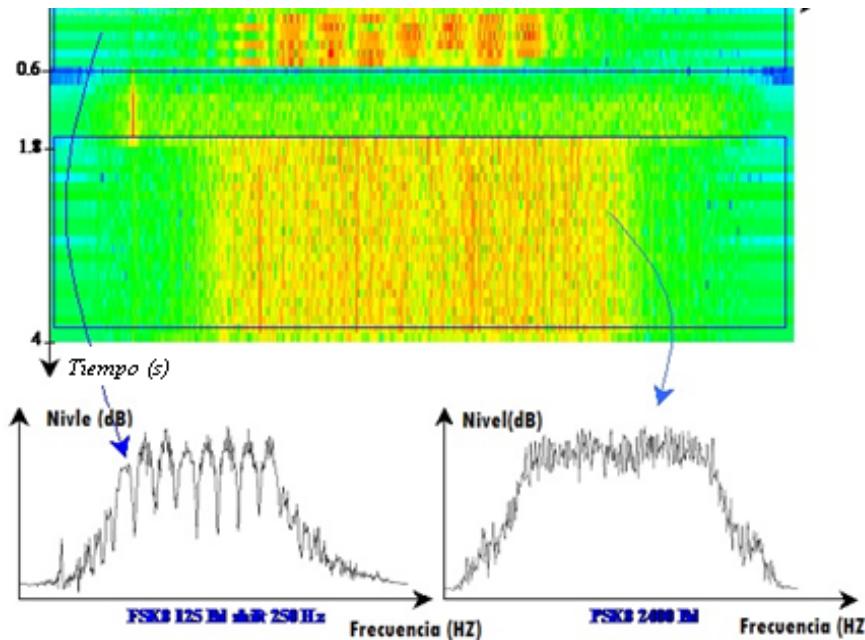


FIGURA 62

Señal con modulación que cambia con el tiempo



Por otra parte, no habrá ningún resultado si la señal no está en la lista de las modulaciones, apoyada por el método; y la señal de entrada debe tener una duración mínima para permitir un análisis completo y la medición de todos los parámetros de modulación (tipo de modulación, el número de estados, velocidad de símbolo, etc.).

Por ejemplo, como se muestra en la Figura 62, cuando la transmisión se compone de dos señales consecutivas, cada una con una modulación diferente, el método de identificación paramétrica no es capaz de identificar el sistema.

IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DE UNA SEÑAL ANÁLOGA

La identificación de una señal análoga se puede hacer en cuatro pasos:

- ✓ *Paso 1:* Ajuste la configuración de la medición de una manera adecuada.
- ✓ *Paso 2:* Compruebe si la señal es una modulación conocida que puede hacerse audible o visible por demodulación.
- ✓ *Paso 3:* El tercer paso es un método automático, que consiste en la identificación de voz utilizando las características de largo plazo del discurso mediante cálculos e histogramas de la variación del valor pico de la señal.

- ✓ *Paso 4:* Simultáneamente, con los métodos anteriores:
 - Representaciones panorámicas y visualización de tiempo vs. frecuencia de la señal, para determinar su naturaleza (AM, SSB, FM, etc.).
 - Una consulta básica de la base de datos de señales análogas de radiocomunicaciones.
 - Técnicas de medición de las recomendadas anteriormente para la determinación de los parámetros de modulación:
 - Frecuencias portadoras y subportadoras en el caso de los protocolos de multiplexación por división de frecuencia.
 - Ancho de banda de la señal.
 - Las características de modulación (profundidad de la amplitud, frecuencia y fase), medidas de acuerdo con las recomendaciones UIT-R vigentes.

IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DE UNA SEÑAL DIGITAL

Una señal digital se puede identificar en tres pasos:

- ✓ *Paso 1:* Medición de los parámetros de modulación. Consulte la sección 3.3.4 para una descripción de los métodos de medición de la modulación basados en ASK, PSK, FSK, QAM, CPM y OFDM.
- ✓ *Paso 2:* Cuando los parámetros de modulación se han medido, se traza una constelación y se compara con la constelación teórica. La magnitud del error vectorial (EVM) se puede utilizar para ajustar los parámetros de la medición a fin de obtener la constelación óptima.
- ✓ *Paso 3:* Se puede dar inicio a la modulación con los parámetros correctos.

3.3.9.6.2.2 Identificación con la ayuda de señales

Principio de la identificación con la ayuda de señales:

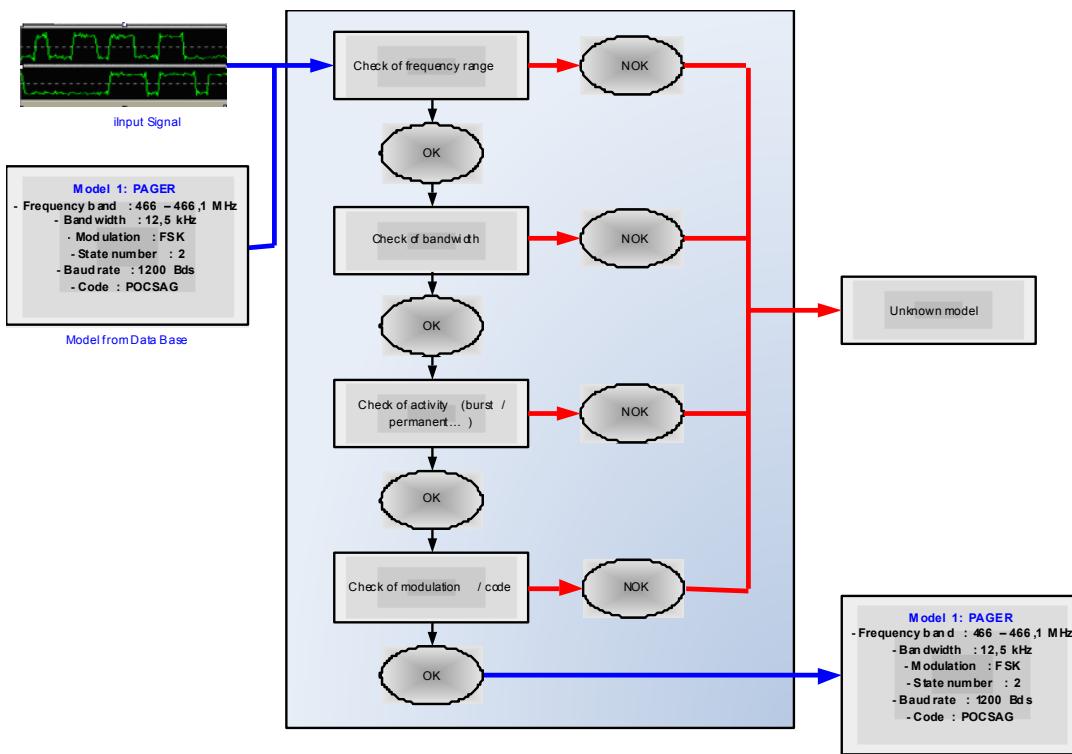
- En este método se utiliza como referencia una base de datos pública, que contiene las señales del sistema estándar, llamadas modelos. Todos los modelos de la base de datos se componen de un conjunto de parámetros. La identificación con la ayuda de señales se basa en la comparación de la estructura y las características de la señal bajo prueba, con la estructura y características de los modelos candidatos en la base de datos. El modelo elegido es el que proporcione la mejor relación con respecto a la señal bajo prueba.

Un modelo se puede describir por los siguientes parámetros:

- Rango de frecuencia.
- Ancho de banda de la señal.
- Tiempo de "actividad" (emisión continua, ráfaga, señal TDMA, etc.).
- Modulación.
- Método de codificación.
- Identificación de la información (indicativo de llamada, número de identificación, etc.).

FIGURA 63

Diagrama de flujo para la identificación con la ayuda de señales



La identificación con señal de ayuda ofrece las siguientes mejoras:

- Proporciona información sobre el sistema en sí (no se limita a las características técnicas de la señal), ofreciéndole al usuario información adicional operativa explotable.
- Mejora la sensibilidad y la duración mínima de la señal ya que no requiere de mediciones (por ejemplo, medición de parámetros de modulación precisos). Se llevan a cabo, pero solo para la comparación entre un modelo de referencia y la señal a identificar.

- Permite reducir la duración del análisis.
- Puede centrarse solo en los modelos que son de interés para el operador.
- Nuevas características del sistema se pueden añadir fácilmente a la base de datos del candidatos modelo.

Sin embargo, existen algunas limitaciones:

- Cada sistema candidato requiere contar con un modelo en la base de datos para poder ser identificado.
- A mayor número de modelos del sistema candidatos para comparar, mayor es el tiempo de cálculo necesario.

3.3.9.7 LLAMADA SELECTIVA EN EL SERVICIO MÓVIL MARÍTIMO Y MÓVIL MARÍTIMO POR SATÉLITE

A continuación se describe el procedimiento al que se refiere el RR [17], artículo 54, Nº 54.2.

1) Formación de números para llamada selectiva de las estaciones de embarcaciones y estaciones costeras

Los números de llamada para una estación de embarcaciones se componen de cinco dígitos y los de las estaciones costeras se componen de cuatro. Véase la Recomendación UIT-R M.257 [26]. Cada dígito es representado por una audiofrecuencia de 1124 a 2 110 Hz, de acuerdo con la siguiente tabla:

TABLA 12
Conversión de dígitos en frecuencia

Figura	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Repetición de figura
Audio	1 124	1 197	1 275	1 358	1 446	1 540	1 640	1 747	1 860	1 981	2 110 Hz

La duración del tiempo de cada tono es = 100 ms. Un número de llamada selectiva de un barco transmitida por una estación costera dura 500 ms, seguida por un intervalo de 900 ms, después de lo cual la llamada selectiva del barco se repite (Recomendación UIT-R M.257 [26]).

Para las estaciones marítimas que usan impresión directa de banda estrecha (NBDP), de conformidad con la Recomendación UIT-R M.476-5 [27], la identificación de cinco dí-

gitos se convierte en cuatro caracteres, de acuerdo con la Recomendación UIT-R M.491 (Anexo 1) [28]. Para las estaciones costeras, el número de cuatro dígitos se convierte también en un código de cuatro caracteres.

De acuerdo con la Recomendación UIT-R M.257 [26], "el sistema secuencial de una sola frecuencia para llamada selectiva (SSFC)" puede ser utilizado para llamar los buques hasta que el sistema sea sustituido por el sistema DSC, descrito en las recomendaciones UIT-R M.493-13 [29] y UIT-R M.541-9 [30] "(véase también RR [17] Nº 54.2).

2) Identidades del servicio móvil marítimo en los servicios marítimos

Las identidades deben cumplir con las disposiciones del RR [17] artículo 19, Nos. 19.108 a 19.117. Las identidades del servicio móvil marítimo se componen de nueve dígitos que se transmiten a través de la radio. A modo de ejemplo, el código de nueve dígitos que constituye una identidad de estación de embarcaciones está formado de la siguiente manera:

M1 I2 D3 X4 X5 X6 X7 X8 X9

M1 I2 D3 representan el dígito de identificación marítima (MID) y X es un número de 0 a 9. El MID refleja la nacionalidad de la estación. Por ejemplo, MID 203 se asigna a Austria y MID 244 a los Países Bajos.

La impresión directa de banda estrecha no solo se utiliza de acuerdo con la Recomendación UIT-R M.476-5 [27], sino también de conformidad con la Recomendación UIT-R M.625-4 [31]. La Recomendación UIT-R M.625-4 [31] sobre NBDP es compatible con la Recomendación UIT-R M.476-5 [27] y utiliza la identidad de cinco dígitos (convertida a un código de cuatro caracteres), así como los códigos de nueve dígitos. Este número de identificación de nueve dígitos del barco puede ser traducido a una identidad de señal de siete, conforme al Anexo 2 de la Recomendación UIT-R M.491 [28]. Por ejemplo, la identidad de nueve dígitos 364775427 se convierte en "PEARDBY" que, en caso de llamar a esta estación de embarcaciones desde una estación costera, es transmitida en tres bloques de tres caracteres en modo simplex TOR de la siguiente manera:

Bloque 1:	P	RQ	E
Bloque 2:	RQ	A	R
Bloque 3:	D	B	Y

RQ = Solicitud o repetición de señal (YBBYYBB)

3) Identidades de servicio móvil marítimo en el servicio móvil marítimo por satélite

Las identidades deben cumplir con las disposiciones de la sección VI del RR [17], artículo 19. A los embarcaciones que cumplan con el Convenio Internacional para la Seguridad en el Mar y otras embarcaciones equipadas con radiocomunicación automatizada, incluyendo llamada selectiva digital (DSC) y/o que lleven los dispositivos de alerta del Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM), se les deben asignar identidades de estaciones de buques, según lo establecido en el RR [17], artículo 19, Nº 19.100-19.126, de acuerdo con el Anexo 1 de la Recomendación ITU-R M.585-6 [32].

4) Sistema de identificación automática del transmisor

Algunos países utilizan un sistema de identificación automática del transmisor (ATIS), para el RR [17], Apéndice 18, de frecuencias para las aguas continentales, y las transmisiones de video de enlace ascendente por satélite. Los sistemas proporcionan una transmisión automática de la identificación al final de cada transmisión y periódicamente durante las transmisiones. Una secuencia de un ATIS se basa en la Recomendación UIT-R M.493-13 [29], o en la Recomendación 7 del Acuerdo Regional de Basilea. La señal de llamada se puede convertir en una identidad de diez dígitos.

Z1 M2 I3 D4 X5 X6 X7 X8 X9 X10,

Donde:

Z representa el número 9 y será utilizado para las aguas continentales solamente.

MID son los dígitos de identificación de acuerdo con el RR [17], artículo 19.

X5 a X6 contendrán un número que representa la segunda letra de la señal de llamada, en donde 01 representa A, 02 representa B, etc.

X7 a X10 contendrán el número de la señal de llamada.

Por ejemplo, la señal de llamada 8075 PC se convierte en: **9 2 4 4 0 3 8 0 7 5**

5) Identidades de EPIRB

Las emisiones de posición de emergencia que indican los radiofaros (EPIRB), que forman parte del sistema COSPAS-SARSAT, constan de satélites en órbita de baja polaridad y transmiten en 406.025 MHz, incluyen la identidad de nueve dígitos. La EPIRB de 406 MHz también puede ser suministrada mediante una radiobaliza de emergencia de 121.5 MHz. El sistema COSPAS-SARSAT es un sistema operativo que se usa en todo el mundo.

La EPIRB (banda- L EPIRB o E- INMARSAT) también utiliza esta identidad de nueve dígitos y utiliza el sistema de INMARSAT. Ya que INMARSAT utiliza los satélites

basados en GSO, colocados sobre el Ecuador, no es un sistema de cobertura global. La cobertura se limita a las áreas entre 70° latitud norte y 70° latitud sur, para aplicaciones prácticas.

Los medios de identificación en los servicios marítimos son diferentes. La Recomendación UIT-R M.585 [32] dice "que cualquier futuro sistema marítimo automático de telecomunicaciones internacionales debe ser diseñado para utilizar las identidades de nueve dígitos, para las estaciones de embarcaciones en el canal de radio".

3.3.9.8 LOS CARACTERES DE CÓDIGO COMPLEMENTARIOS, SÍMBOLOS SEXTO Y SÉPTIMO

El sexto carácter indica un grupo de sistemas. Se utilizan las siguientes características y grupos:

Morse	A
Asíncrono (inicio -parada)	C
Sistemas ARQ con tren de pulsos no interrumpido	E
Sistemas ARQ tipo ráfaga	F
Twinplex	H
Desconocido (pero se conoce el número de bits en un marco)	J
Corrección de error de avance	K
Multitono	M
Radionavegación y localización	N

El séptimo carácter indica el sistema dentro de alguno de los grupos antes mencionados y es una indicación exacta del sistema en el grupo. Esto hace que sea posible definir 26 sistemas diferentes dentro de cada grupo (por ejemplo, el grupo A, grupo C, grupo E, etc.). Por ejemplo, el séptimo carácter B indica el sistema Télex Baudot con el grupo C, y ARQ E3 en el grupo E.

La siguiente tabla proporciona ejemplos para algunos sistemas conocidos.

TABLA 13

Vista general de algunos sistemas conocidos y sus parámetros específicos

CÓDIGO	NOMBRE	ALF	BITS	DETEC/CORR	M/CYC	DUR/DIS/NUM
	Morse	Morse				
C-	INICIAR PARAR					
CB	télex Baudot	ITA2	7.5			
CC	télex ruso	ITA2_RUS	7.5			
CD	télex árabe	ITA2_ARAB	7.5			
CK	télex ASCII	ITA5	10	Paridad		
E-	ARQ tren de pulsos					
EA	ARQ-1000 dúplex	ITA2_P	7	Paridad	RQ	4 5 8
EB	ARQ-E3	ITA3	7	m/s = 3:4	RQ	4 8 3
EC	342 TOR 1 kan	ITA3	7	m/s = 3:4	RQ	4 8 3
ED	342 TOR 2 kan	ITA3	7	m/s = 3:4	RQ	4 8 3
EE	342 TOR 4 kan	ITA3	7	m/s = 3:4	RQ	4 8 3
EF	242 TOR 2 kan	ITA3	7	m/s = 3:4	RQ	2 ?
EK	ARQ-N	ITA2_P	7	Paridad	RQ	
EL	POL-ARQ	SITOR	7	m/s = 3:4	RQ	
EM	TORG 10 - 11	ITA2-R11	11			

3.3.10 Medición de microondas

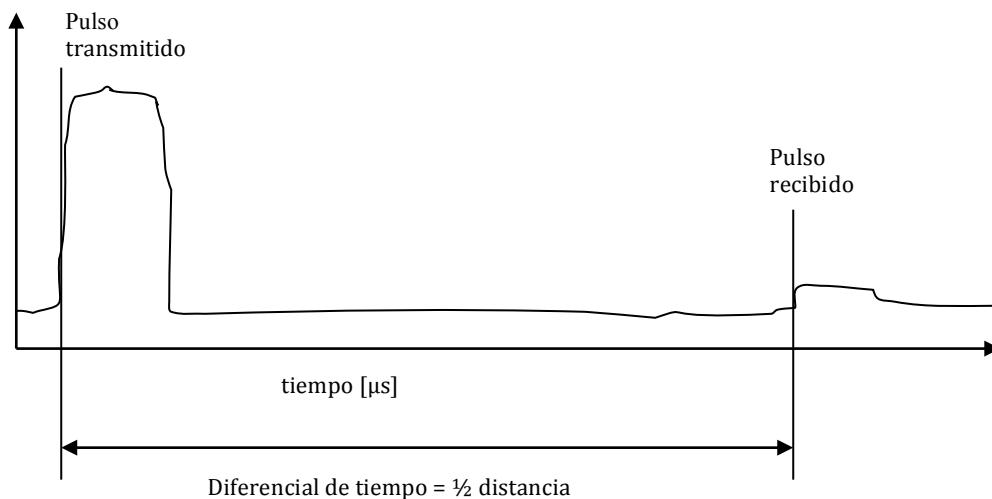
3.3.10.1 RADAR

3.3.10.1.1 Introducción

El radar (término derivado del acrónimo inglés *radio detection and ranging*, “deteción y medición de distancias por radio”), se aplicó primero al uso militar, en la década de 1930, para detectar la presencia de aeronaves. Hoy en día, las aplicaciones de radar están en todas partes. Las propiedades típicas, tales como las altas frecuencias, pulsos cortos y las antenas rotatorias, requieren técnicas específicas de radio monitoreo.

3.3.10.1.2 Principio básico del radar

FIGURA 64
Pulso típico de radar



El tiempo necesario que requiere el pulso para ser irradiado por la antena hasta que el pulso reflejado es recibido, se puede convertir en distancia, puesto que se conoce la velocidad de la onda electromagnética. Además, el receptor conoce la dirección de la antena en cada instante y, por lo tanto, la dirección hacia el obstáculo reflejado también se puede determinar. En el caso de objetos en movimiento, por ejemplo, objetos voladores, la velocidad relativa de los objetos resulta en un cambio de frecuencia del pulso reflejado en relación con el pulso transmitido, lo que se conoce como Efecto Doppler.

La velocidad relativa del objeto puede calcularse a partir del cambio de frecuencia. Si los pulsos recibidos se representan como un punto en un mapa, varias mediciones llevadas a cabo en serie también permiten determinar la dirección del objeto. Los radares modernos equipados con circuitos de evaluación adecuados son capaces, incluso, de representar la posición, tamaño y contorno de un objeto, y hasta reconocer el tipo o clase de objeto.

Los pulsos transmitidos se componen de varios pulsos que tienen una forma semejante a un cuadrado (secuencia de pulsos). Un radar de alcance medio, como los que se utilizan para el control del tráfico aéreo en los aeropuertos, se toma como ejemplo. Este tipo de radar, generalmente, transmite en el rango de frecuencia de 2.7 a 2.9 MHz y puede tener una potencia de, por ejemplo, 1 MW (90 dBm). La duración del pulso de un sistema como este es generalmente de 1 μs y la frecuencia de repetición del pulso es de 1 ms. La potencia del

transmisor es, por lo tanto, 1 kW. Esto significa que se puede cubrir un área de 50 a 60 NM (93-111 km). El nivel mínimo de potencia recibida puede ser 10^{-13} vatios (-100 dBm). La potencia del transmisor, como tal, excede la potencia recibida por 190 dB.

3.3.10.1.3 La ecuación de alcance del radar

De manera general, mediante la ecuación de alcance del radar se obtiene la distancia máxima a la que un objetivo puede ser detectado. Esto supone que no hay disturbios en la potencia radiada, que prevalecen las condiciones de propagación en espacio libre y que se utiliza una antena para la transmisión y recepción.

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \sigma}{P_{R\min} \cdot (4 \cdot \pi)^3}} \quad (18)$$

P_T = potencia transmitida

G = ganancia de la antena (antena transmisora = antena receptora)

λ = longitud de onda

σ = corte transversal del radar

$P_{R\min}$ = potencia mínima recibida

Esta ecuación ilustra que, con el fin de duplicar el alcance, es necesario cuadruplicar la ganancia de antena o aumentar la potencia del transmisor en 16 veces. El alcance de un radar también depende de la sección transversal efectiva del objetivo. Dependiendo de la aplicación del radar, el alcance puede aumentarse o disminuirse artificialmente.

3.3.10.1.4 Componentes principales de los sistemas de radar

El transmisor consta de un generador en forma de onda y un amplificador de potencia. Esta última plataforma consiste bien sea de un klistrón, un magnetrón o un semiconductor en la etapa de salida. El multiplexor asegura una conmutación rápida de la antena del transmisor al receptor y viceversa.

La antena transmite y recibe los pulsos. En los radares de vigilancia, la antena se monta en un actuador rotatorio que está equipado con un aparato que suministra continuamente la información sobre la dirección actual al receptor. En otros radares, la antena mira hacia una sola dirección.

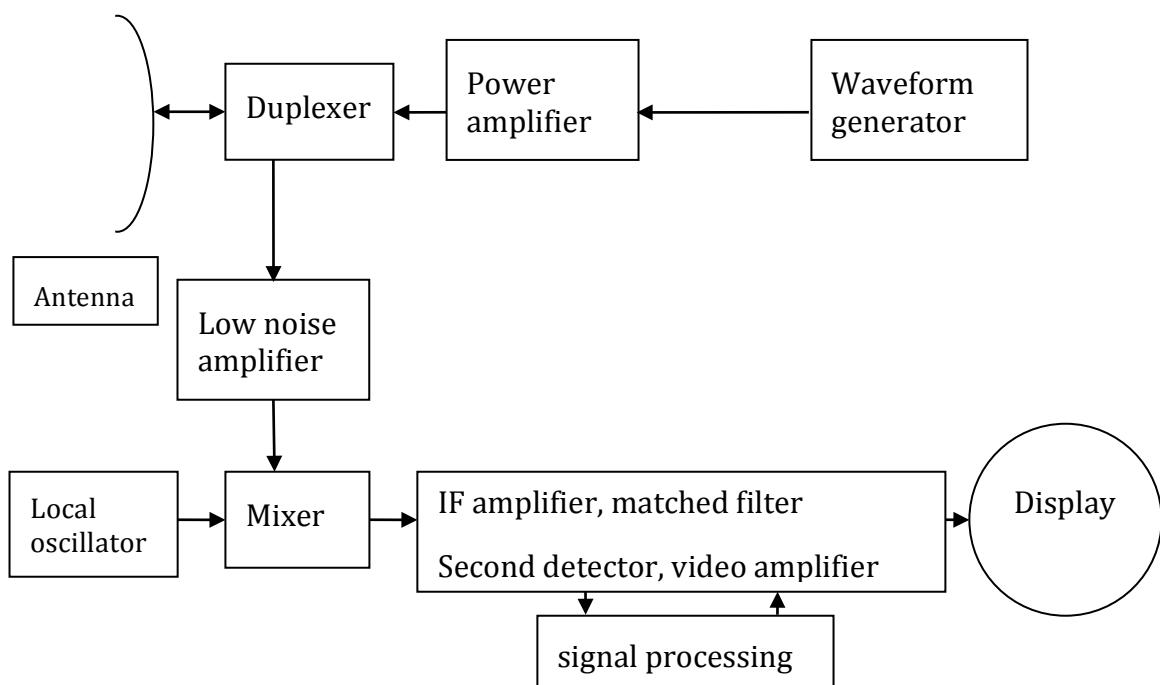
El receptor debe amplificar las señales de entrada débiles y suprimir el ruido de los componentes en la medida de lo posible (amplificador de bajo ruido).

El procesamiento de señales ahora debe ser utilizado para separar los ecos no deseados (por ejemplo, de las montañas) de los ecos deseados (por ejemplo, de las aeronaves). Para ello, también se evalúa el Efecto Doppler, que revela la velocidad relativa de un objeto en movimiento. Esto permite que los objetos en movimiento sean distinguidos de los objetos estacionarios. La dirección de la antena también es evaluada y posteriormente se muestran las señales que exceden un umbral predeterminado.

Los datos medidos se muestran gráficamente en la pantalla del radar, a través de la unidad de visualización. En el caso de los objetos en movimiento se muestra no solo su posición sino también su dirección.

FIGURA 65

Diagrama esquemático de un radar con un amplificador de potencia



3.3.10.1.5 Aplicación del radar

Hoy en día, la ingeniería del radar es aplicada en muchas áreas. Sin embargo, sus principales usos están todavía relacionados con la aviación, la navegación y las fuerzas armadas. Hoy en día, la ingeniería del radar es el pilar de la meteorología que utiliza radares de lluvia o nubes y perfiladores de vientos. La policía utiliza radares para monitorear la velocidad de

los vehículos y en la industria y la tecnología de los vehículos motorizados hay radares de medición de distancia, radares de nivel de sonda, etc. Por último, pero no menos importante, la ingeniería de radar también se utiliza en la investigación y la tecnología espacial.

Radares a bordo de embarcaciones, en bahías, esclusas, faros

En estas localizaciones, los radares sirven para determinar la distancia y la posición de otras embarcaciones, icebergs, tierra, etc. Los rangos de frecuencia y niveles de potencia varían dependiendo del uso y tamaño de la nave.

Radares en aeronaves, aeropuertos, etc. (control del tráfico aéreo)

Los radares a bordo de las aeronaves se utilizan para determinar la distancia con respecto a otras aeronaves (radares anticolisión), a la superficie de la tierra o con relación a otros obstáculos (radio altímetros). Muchas aeronaves están equipadas también con un radar meteorológico (radares de clima en vuelo). En los aeropuertos hay radares de aterrizaje y de corto alcance, y en lugares de mayor altitud se utilizan los radares de búsqueda aérea de largo alcance.

Radares para la observación del clima

Los perfiladores de viento se utilizan para determinar la velocidad y dirección del viento a diferentes altitudes. Los radares de lluvia o nubes miden el movimiento de las tormentas, la acumulación de nubes y la precipitación. Estos radares se encuentran también en los aeropuertos (Terminal Doppler Weather Radar, TDWR) y en las aeronaves más grandes para emitir advertencias sobre turbulencias graves.

Medición de la velocidad de los vehículos

En este caso, el Efecto Doppler se utiliza para medir la velocidad de un objeto.

El uso de radares en la industria, la tecnología espacial, etc.

En la industria, por ejemplo, la ingeniería de radar es utilizada para la evaluación no destructiva de materiales de construcción, en forma de radares de nivel de llenado y radares de detección de movimiento. Los radares también se emplean para la investigación de las formaciones geológicas (radares de sondeo del suelo). En la tecnología de vehículos motorizados, los radares de medición de distancias son utilizados para determinar las distancias. En la tecnología espacial y la astronomía, los radares se utilizan para la detección remota de medición de distancias de vehículos de motor, los radares determinan las distancias. En la tecnología espacial y en la astronomía los radares se usan para la detección remota (reconocimiento y mapeo de los planetas) y para el monitoreo de los desechos espaciales.

3.3.10.1.6 Tecnología básica de los radares

Existen dos tecnologías básicas de los radares:

- Los radares tipo tubo, que utilizan magnetrones, klistrones, tubos de ondas progresivas, etc. Han existido durante medio siglo y siguen siendo muy populares.
- Transmisores de radar de estado sólido, que se han vuelto muy populares en los últimos veinte años. Los radares de estado sólido ofrecen ventajas en cuanto a costo y facilidad de mantenimiento, pero pueden ser más pesados que los radares tipo tubo y no pueden desarrollar la misma potencia máxima que estos últimos.

La Tabla 14 muestra las ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías.

TABLA 14
Ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías de radar

Tecnologías de radar	Ventajas	Desventajas
Magnetrón	Transmisor de alta potencia No es costoso Gran rango de frecuencia ajustable	Alto nivel de ruido No son apropiados para radares con compresión de pulsos ni para usar el Efecto Doppler (medición de velocidad)
Klystron y TWT	Transmisor de alta potencia Estabilidad satisfactoria Bajo ruido Apropiado para uso con el Efecto Doppler	Más costoso que un magnetrón Radiación de rayos X debido al alto voltaje
Transmisores de estado sólido	Excelente estabilidad Apropiado para modulación de pulsos y para utilizar el Efecto Doppler (medición de velocidad) No radiación de rayos X Durabilidad y fácil mantenimiento No son difíciles de conseguir	Potencias más bajas que las que ofrece un klystron Menos eficiente en el consumo de energía Más pesados y más costosos que un klystron.

3.3.10.1.7 Tipos o clasificación de radares

Los radares se pueden clasificar según criterios muy diversos como, por ejemplo:

- Localización (en tierra, en el aire, en el espacio, a bordo de una embarcación, etc.).
- Banda de frecuencia.
- Función del radar (radar de medición de distancia, radar de tiempo, mediciones de velocidad, etc.).
- Forma de la señal (de pulsos, CW, FMCW).

Radar primario

Este tipo de radar es el más común, transmite una señal electromagnética, recibe la reflexión de las señales, evalúa el resultado y lo muestra.

Radar secundario

El radar secundario responde a una solicitud. Si este tipo de radar recibe un pulso de radar, responde y envía su código junto con otros datos, lo que aumenta considerablemente su alcance. Así, por ejemplo, es como el radar secundario funciona a nivel mundial para las aeronaves. La solicitud se transmite en 1030 MHz y la respuesta en 1090 MHz.

Los equipos de medición de distancia (DME) también funcionan como un radar secundario. La aeronave transmite un pulso, la estación de tierra responde y el tiempo de retraso se utiliza para calcular la distancia exacta. En la navegación, las balizas de emergencia con frecuencia se instalan en las marcas de navegación y responden a una señal de radar con un código único, para así mismo reproducir marcas más pequeñas de navegación en la pantalla del radar, que no podrían ser vistas por el radar.

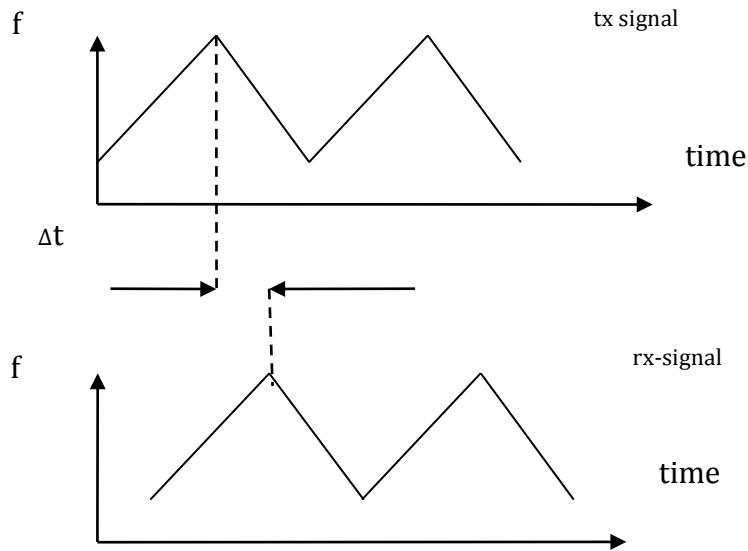
Radar de onda continua

Un radar de onda continua transmite y recibe constantemente señales de radar. El desplazamiento de frecuencia causado por un objeto en movimiento (desplazamiento de frecuencia debido al Efecto Doppler) es evaluado. Lo anterior se utiliza para las mediciones de velocidad por radar.

Radar FM-CW

El radar FM-CW (radar de onda continua y frecuencia modulada) también transmite una señal continua, pero modulada en frecuencia. El retraso de la señal provoca un desplazamiento de frecuencia que se puede convertir fácilmente en la distancia. Este principio es usado por los radio altímetros FM-CW.

FIGURA 66
Principio de un radar FM-CW



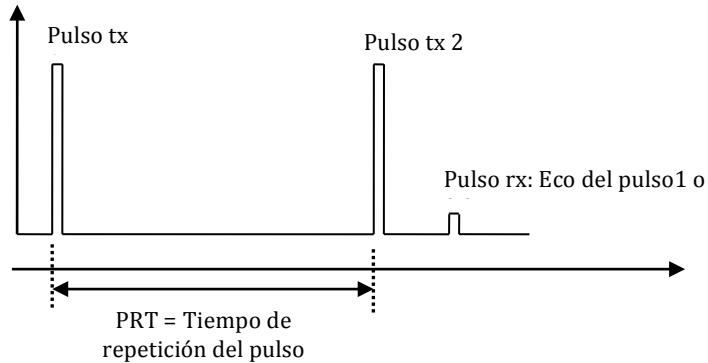
Radar de pulsos cortos

Esta aplicación de radar es la más utilizada y, de hecho, cuando se desconoce la identificación de una aplicación de radar, se considera que se trata de un radar de este tipo. Este tipo de radar transmite un pulso corto, posteriormente la antena cambia a modo de recepción y espera una señal reflejada. De esta manera, pueden ser evaluados la dirección, la intensidad de campo y, generalmente, también el desplazamiento de frecuencia (Efecto Doppler debido a los objetos en movimiento) de la señal recibida.

Los radares utilizados para la identificación de objetos en movimiento (MTI = indicación de objetivo móvil) a menudo se basan en diferentes tiempos de repetición de pulsos, para poder reconocer el punto de corte por concentración de ruido provocado por los ecos y reflexiones (*clutter notch*) y los errores de medición debido a las largas demoras.

El punto de corte por concentración de ruido provocado por los ecos y reflexiones (*clutter notch*) ocurre cuando el Efecto Doppler se utiliza para suprimir los objetivos fijos. Si la velocidad relativa del objeto en movimiento produce un cambio en la fase de 360° o un múltiplo de comparación con la onda de transmisión, entonces el objeto es reconocido como un objetivo fijo y no se muestra.

FIGURA 67
Ambigüedad de pulsos detectados

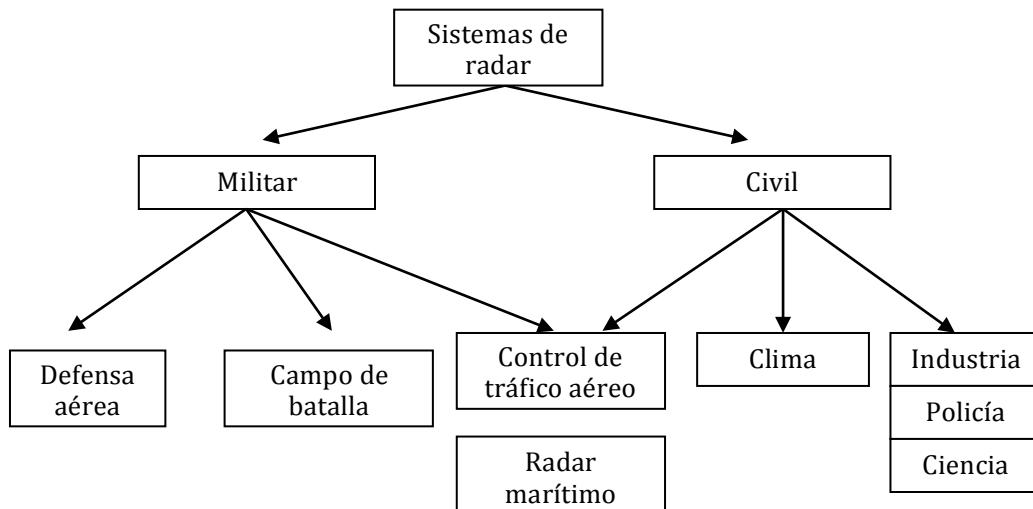


Cuando se recibe un eco, no es claro si se trata de un exceso de disparos debido a la recepción del pulso 1 o de la recepción normal del pulso 2. Si los tiempos de repetición del pulso se cambiaran, en el caso de un exceso en los disparos de pulsos, el eco del pulso volvería a aparecer en otra parte. En el caso de una recepción normal, sin embargo, se conserva la distancia de transmisión entre pulso y eco.

Radar de compresión de pulsos

En este tipo de ingeniería de radar, la frecuencia o fase de un pulso largo es modulada para lograr el rango de un pulso largo junto con la resolución de distancia de un pulso corto.

FIGURA 68
Clasificación de acuerdo con el uso del radar



Las siguientes figuras muestran algunos radares típicos.

FIGURA 69

Radar de búsqueda aérea de largo alcance y antena con radar secundario en la parte superior



3.3.10.1.8 Principales bandas de frecuencia para sistemas de radar

La Tabla 15 enumera las principales bandas de frecuencia para los sistemas de radar junto con su uso.

TABLA 15

Principales bandas de frecuencias para sistemas de radar

Frecuencia	Banda	Aplicación
5 - 25 MHz	HF	Radar sobre el horizonte
420 - 450 MHz	UHF	Radio localización, por ejemplo, perfilador de viento
960 – 1215 MHz	L	Búsqueda aérea (Aplicación DME)
1030/1090 MHz	L	Radar primario/secundario
1250 – 1350 MHz	L	Radar aéreo de búsqueda de largo alcance
2700 – 2900 MHz	S	Control de tráfico aéreo en aeropuertos
2900 – 3100 MHz	S	Navegación de embarcaciones
3100 – 3600 MHz	S	Búsqueda aérea
4200 – 4400 MHz	C	Radio altímetro de bajo alcance
5000 – 5850 MHz	C	Navegación y búsqueda aérea
8,5 – 10,5 GHz	X	Radio localización, búsqueda marítima y aérea
13,25 – 14,0 GHz	Ku	Radar de detección de movimiento, radio localización
15,4 – 17,7 GHz	Ku	Navegación y búsqueda aéreas
24,0 – 24,25 GHz	K	Radar de detección de movimiento, industria, radio localización
31,8 – 36,0 GHz	Ka	Radar de detección de movimiento, industria, radio localización
59,3 – 64,0 GHz	V	Radar de detección de movimiento, industria, radio localización

3.3.10.1.9 Instrumentos para medir señales de radar

De ser necesario realizar mediciones de radar, los siguientes instrumentos deben estar disponibles:

Analizador de espectro

Muchas de las funciones de radar, como el ancho del pulso, la frecuencia de repetición de pulsos, velocidad de rotación, potencia, la frecuencia central, ancho de banda ocupado y las emisiones no deseadas, pueden ser medidas con un analizador de espectro. El analizador también se puede usar para medir el ascenso y descenso de las crestas, siempre y cuando el ancho de banda del filtro de RF sea lo suficientemente grande.

Osciloscopio digital

Un osciloscopio digital en combinación con un modulador de banda ancha es muy adecuado para la medición de la duración del pulso, el ascenso y descenso de las crestas, y la longitud del pulso. Para este fin, muchos dispositivos están equipados con funciones especiales de medición.

Con la ayuda del método de sustitución también es posible medir la potencia de impulso y se puede al menos determinar la modulación de fase.

Sin embargo, un requisito previo para la utilización del osciloscopio, al realizar estas mediciones, es que el nivel de la señal sea adecuado y que no existan otras emisiones en la entrada del osciloscopio. Este es siempre el caso, si la medición se lleva a cabo en el radar.

Analizador FFT o de señales vectoriales

Un analizador de señales vectoriales o analizador FFT puede complementar las funciones de medición del analizador de espectro, pues permite la visualización de la fase o la frecuencia en el tiempo, permitiendo la medición de la fase y modulación de frecuencia de un pulso. Sin embargo, a diferencia del analizador de espectro, el espectro puede ser capturado y mostrado en su totalidad después de una sola rotación del radar. Un analizador de espectro necesita mucho tiempo para lograrlo.

Debido a los requisitos especiales que se describen en la sección 3.3.10.1.10.7, un analizador FFT puede no ser adecuado, en todos los casos, para la medición de las emisiones no deseadas.

Medidor de potencia (medidor de potencia térmica)

Con un medidor de potencia térmica moderno, tanto la potencia media como la potencia del pulso se pueden medir directamente en la salida de medición de un radar. La potencia del pulso puede ser calculada a partir de la potencia media, utilizando el ciclo de trabajo.

Analizador de pulso

Los analizadores de pulsos escanean los pulsos a alta velocidad, los digitalizan y evalúan el resultado de forma automática. Se pueden medir la frecuencia, amplitud, ancho y frecuencia de repetición de cada pulso.

Este método de medición permite que los parámetros principales de un radar se analicen en un periodo corto de tiempo. Especialmente los radares de transmisión y recepción escalonada, es decir, los radares donde la longitud del pulso o los tiempos de repetición no son constantes, pueden inspeccionarse fácilmente.

3.3.10.1.10 Medición de señales de radar

3.3.10.1.10.1 Parámetros principales de radar

- Frecuencia central.
- Duración del pulso (ancho del pulso).
- Tiempo de ascenso y descenso del pulso.
- Frecuencia de repetición de pulso (tasa de pulsos).
- Velocidad de rotación del radar.
- Potencia del pulso (potencia máxima).
- Ancho de banda ocupado.
- Emisiones no deseadas (emisiones espurias y emisiones fuera de banda).
- Modulación del pulso.

3.3.10.1.10.2 Disposición de la medición

General

Existen dos maneras principales de inspeccionar un radar: 1) en el radar como tal, en la salida de medición o 2) vía la interfaz de radio (medición de espacio libre).

Para determinar la velocidad de rotación de la antena transmisora, la medida tiene que ser realizada en la interfaz de radio. Lo anterior también aplica cuando se debe inspeccionar el patrón de radiación. Si las emisiones no deseadas han de medirse en la salida de medición del radar, se debe conocer el patrón de radiación exacto en relación con el comportamiento de la antena en diferentes frecuencias (ver UIT-R M.1177-4 [45]), ya que la antena puede amplificar las emisiones no deseadas en las frecuencias adyacentes, en forma diferente a la emisión principal.

No todos los radares más pequeños tienen una salida de medición, así que, en estos casos, la medición debe ser realizada en la interfaz de radio.

Medición en la salida de medición de un radar

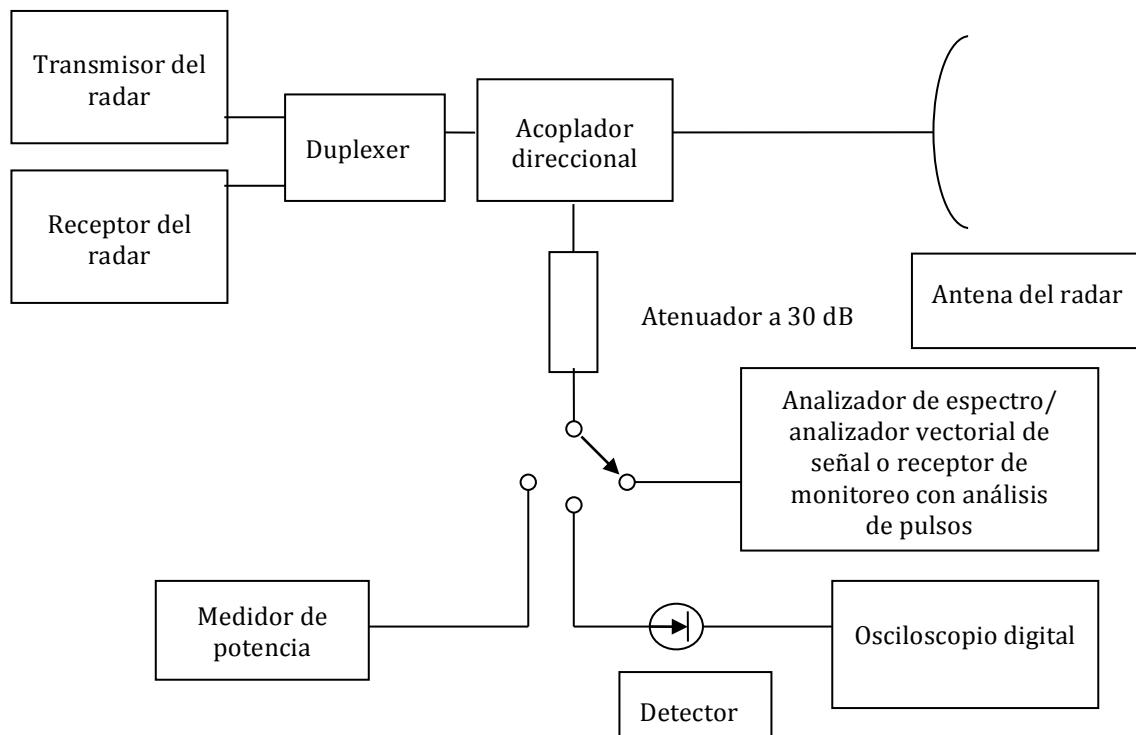
Con frecuencia, la potencia del transmisor de un radar puede medirse solamente a través de su salida de medición, porque, especialmente en el caso de los radares estacionarios utilizados en aviación, la elevación no puede ser disminuida lo suficiente como para que se pueda llevar a cabo un monitoreo en el lóbulo principal.

Las mediciones realizadas en la salida de medición de un radar garantizan que solo se midan los componentes de frecuencia de los radares que se van a inspeccionar. Esto hace que las mediciones sean menos problemáticas que aquellas llevadas a cabo vía la interfaz de radio. Sin embargo, las características de la antena deben ser conocidas en detalle para poder calcular la potencia del transmisor o la potencia de las emisiones no deseadas.

Para lo anterior, la mayoría de los radares tienen una salida de medición. Un acoplador direccional con una atenuación de acoplamiento de 30 dB se inserta entre el transmisor del radar y la antena de radar.

FIGURA 70

Diagrama esquemático para la medición de características típicas de radar en el mismo radar



Medición de un radar a través de la interfaz de radio (medición de espacio libre)

En esta constelación es necesario asegurarse de que la antena de medición sea estable y su exactitud esté orientada en dirección a la antena de transmisión de un radar (acimut y elevación). No debe haber ningún obstáculo entre la transmisión y la antena receptora, se debe cumplir la condición de campo lejano.

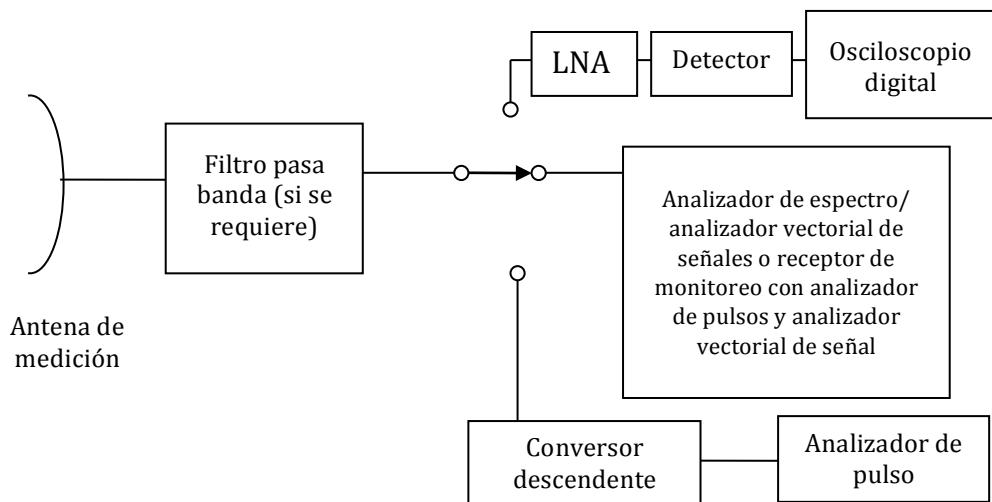
La condición de campo lejano de antenas grandes se deriva de la siguiente fórmula:

$$\frac{2D^2}{\lambda} \quad (19)$$

Donde: D = diámetro de la antena y λ = longitud de onda

FIGURA 71

Diagrama esquemático para medición de las características del radar mediante su interfaz de radio (medición de espacio libre)



Ejemplo: Un radar de búsqueda aérea de largo alcance tiene un diámetro de antena de 6 metros y una frecuencia de 1300 MHz. La condición de campo lejano se cumple a los 312 metros y más.

3.3.10.1.10.3 Medición de la frecuencia central

La frecuencia central se obtiene operando un analizador de espectro por algún tiempo en el modo de detección de "pico positivo" y en modo de visualización "máxima retención". Cuanto menor sea el filtro de medición (ancho de banda de RF), se podrá leer con mayor precisión la frecuencia central. El espectro se muestra mejor una vez la potencia máxima del radar alcanza cada uno de los puntos de barrido horizontal. Sin embargo, con un analizador de espectro convencional esta medición puede tomar bastante tiempo.

Ejemplo: Un radar de búsqueda aérea de largo alcance necesita 11.6 segundos para una rotación. El analizador tiene 500 puntos de barrido, por lo que la medición dura por lo menos 1.5 horas.

La medición es mucho más corta si se realiza con un analizador FFT. El espectro entero se muestra después de una sola rotación, puesto que el analizador FFT puede procesar y mostrar el ancho de banda requerido de la frecuencia durante un solo escaneo.

3.3.10.1.10.4 Medida de los parámetros del pulso

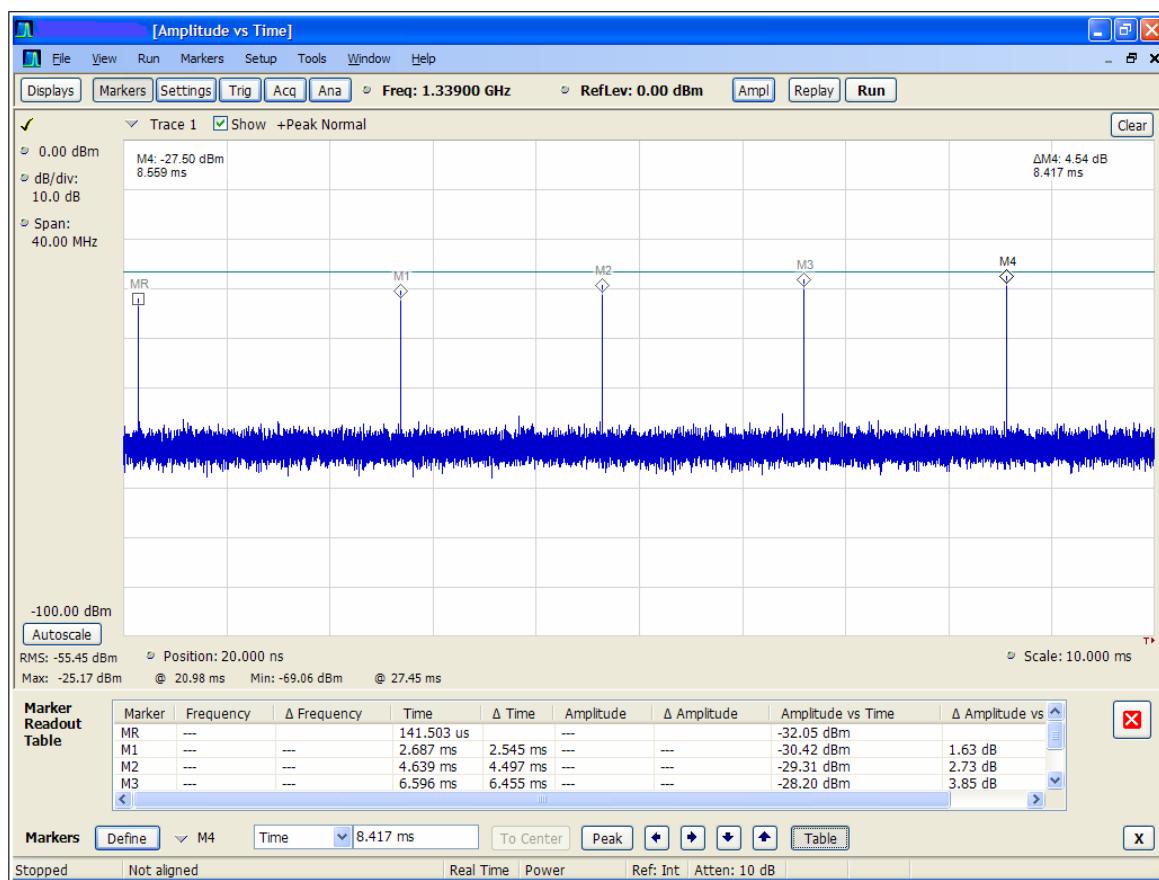
En este caso, se deben medir la duración del pulso, el tiempo de acenso y decaimiento, la frecuencia de repetición del pulso y la velocidad de rotación. Para la medición de la velocidad de rotación solo es necesario aumentar el tiempo de barrido del analizador, hasta poder medir, por lo menos, una rotación en el modo de lapso cero.

Para poder medir un radar de transmisión y recepción escalonada con el analizador de espectro, se deben capturar secuencialmente varios pulsos. El número debe ser bastante alto para que se repitan los tiempos de repetición de los pulsos.

La Figura 72 ilustra el ejemplo de un radar de búsqueda aérea de largo alcance, utilizando 14 longitudes del pulso distintas. En la pantalla se puede observar una secuencia de 5 a 14 pulsos en intervalos de 2.545 ms, 1.952 ms, 1.957 ms y 1.963 ms.

FIGURA 72

Medición de pulsos de un radar de búsqueda aérea de largo alcance



Por supuesto, es más fácil utilizar un analizador de pulso para una medida de este tipo porque se puede capturar un número más alto de pulsos (por ejemplo, 1024) y en cada caso se pueden producir parámetros como la longitud y frecuencia de repetición y más.

3.3.10.1.10.5 Medición de la potencia del pulso

La potencia pico de salida del transmisor (potencia del pulso) se puede medir directamente en el radar, usando un acoplador de prueba. Esto se puede hacer con un analizador de espectro o un medidor de potencia termal. Durante esta medición, el medidor de potencia debe ser capaz de medir la potencia durante el pulso solamente. Si no es así, la potencia perjudicial y el ciclo de trabajo se utilizan para calcular la potencia del pulso con la fórmula “potencia perjudicial/ciclo de trabajo = potencia del pulso”. Ejemplo: Cuando la potencia perjudicial del transmisor de un radar es 1 KW y el ciclo de trabajo es 1/1000, entonces la potencia del pulso es 1 MW.

La E.I.R.P. se determina adicionando la ganancia de la antena G_i y teniendo en cuenta la pérdida de línea.

De ser posible orientar la antena transmisora en dirección al lóbulo principal de la antena receptora, la potencia del pulso se puede medir también en la interfaz de radio. Para poder hacer esto, se requieren condiciones de campo lejano y espacio libre. El analizador de espectro se utiliza para medir la potencia. La potencia y longitud del pulso se pueden medir simultáneamente.

3.3.10.1.10.6 Medición de ancho de banda ocupado

La medición de ancho de banda ocupado es importante en relación con la medición de emisiones no deseadas. De acuerdo con la UIT-R M.1177-4 [45], los radares no deben exceder un ancho de banda máximo de B_{40} , es decir, 40 dB, por debajo de la potencia de la envolvente pico (PEP). Esta potencia se calcula a partir de la longitud del pulso y del tiempo de ascenso o decaimiento, dependiendo de cuál de los dos sea más corto. El ancho de banda ocupado debe estar dentro los límites del ancho de banda calculado. Las fórmulas para la medida de ancho de banda B_{40} se describen detalladamente en el Anexo 8 de la UIT-R SM.1541-4 [46].

Cuando se mide el ancho de banda ocupado se debe tener en cuenta que el máximo ancho de banda del filtro de medición depende del tipo de modulación, la duración del pulso, la longitud del chirp y el rango de frecuencia de barrido. Se pueden encontrar más detalles sobre este tema en la Recomendación UIT-R M.1177-4 [45].

De acuerdo con el Anexo 1 de la UIT-R M.1177-4 [45], un filtro más grande que el que suele utilizarse en aplicaciones de radio se utiliza como filtro de medición, para medir las emisiones no deseadas, y con ellas el ancho de banda ocupado. El ancho de banda calcula-

do B_{-40} ya tiene en cuenta el consiguiente error de medición. El ancho de banda de medición B_m que en el caso de los radares no codificados por pulso, arroja $B_m \leq 1/T$, donde: T = duración del pulso. En el caso de una longitud del pulso de 1 ms, esto da lugar a un B_m de 1 MHz. Este ancho de banda de medición es importante para la correcta medición del nivel global de las emisiones no deseadas y por lo tanto también para el ancho de banda ocupado. El ancho de banda ocupado se puede medir en la interfaz de radio y en la salida de medición de un radar. Las medidas en la interfaz de radio se deben realizar en una antena de radar no-giratoria.

3.3.10.1.10.7 Medición de emisiones no deseadas

a) Consideraciones generales

Se hace una distinción entre las “emisiones fuera de banda”, las emisiones fuera del ancho de banda necesario que resultan de la de modulación, y por lo tanto son inevitables, y las “emisiones espurias” que no se relacionan directamente con las emisiones reales. Las emisiones espurias incluyen emisiones armónicas, emisiones parásitas, productos de intermodulación y productos de conversión de frecuencia.

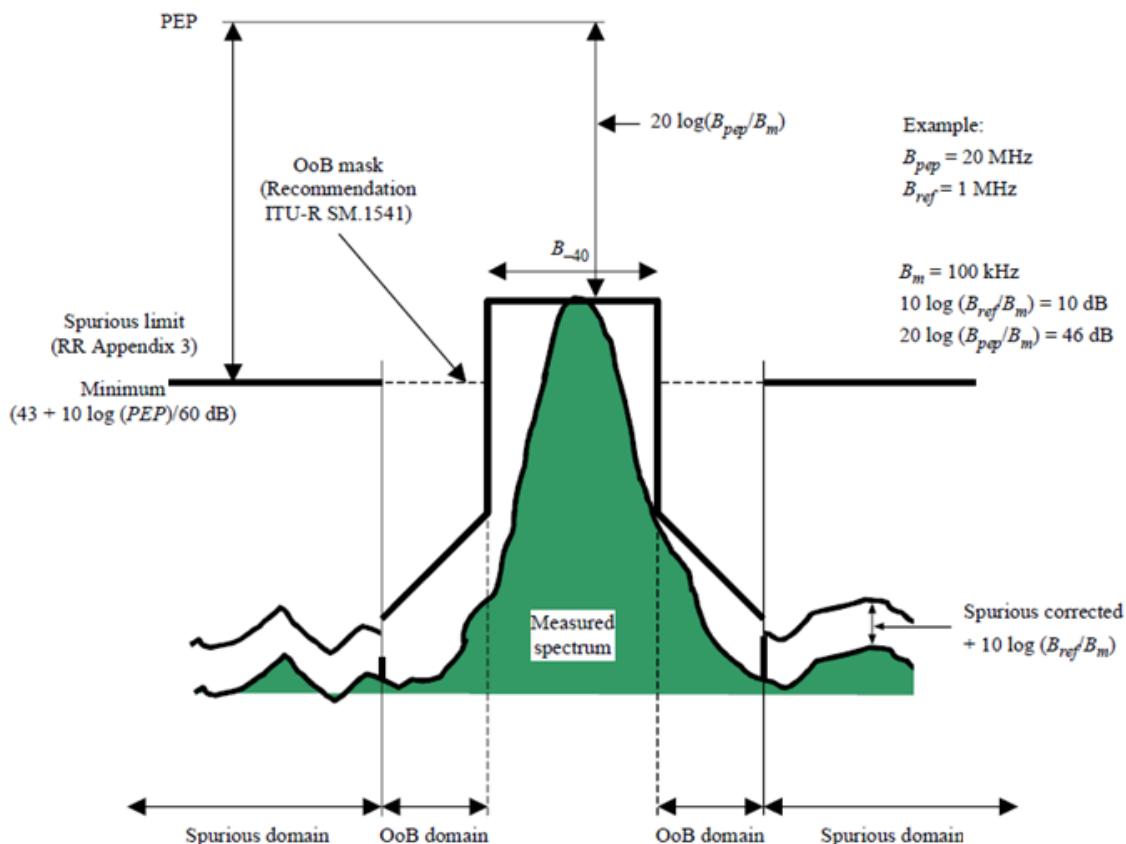
Para cada radar se deben calcular: una máscara en conformidad que consista de B_{-40} , los límites fuera de banda y los límites espurios. Este procedimiento se describe detalladamente en la UIT-R M.1177-4 [45].

Las medidas de ancho de banda ocupado y las emisiones no deseadas se realizan con un espectro o analizador FFT. Si se utiliza un amplificador, es necesario asegurarse de que no esté sobrecargado y haya suficiente rango dinámico para medir las emisiones no deseadas. El ruido del receptor debe ser visible en los bordes del espectro.

La Figura 73 muestra el ejemplo de una máscara de espectro calculada y de espectro medido tomada de la UIT-R M.1177-4 [45]. Para fines de demostración, la curva de filtro se registró con un ancho de banda de medición de 100 kHz, a pesar de que un ancho de banda de medición de alrededor de 1 MHz habría sido más apropiado. Debido a que la medición se llevó a cabo con un ancho de banda de medición más estrecho, los valores de corrección se han aplicado en el dominio espurio y para la determinación de la PEP (potencia de la envolvente pico).

Las máscaras de espectro para las emisiones de radar, por lo general, oscilan en niveles, de por lo menos, 60 dB, y a veces hasta de 100 dB. Suponiendo que el nivel más bajo de una emisión no deseada tenga, por lo menos, 10 dB por encima de la sensibilidad del equipo, es necesario un rango dinámico mínimo de configuración de la medición de más de 70 dB (hasta 110 dB), más allá de la especificación para filtros de medición disponibles en el mercado de los receptores o analizadores de espectro. Por lo tanto, la medición tiene que

FIGURA 73

Ejemplo de máscara de espectro calculada

hacerse a través de un filtro que suprime la emisión principal y que pase el rango de frecuencias de interés, casi sin atenuación. Para las emisiones de radar no deseadas, el rango de frecuencia de medición puede cubrir muchos GHz. Los filtros rechaza banda (filtros de corte), sincronizados en la frecuencia principal del radar, a menudo resultan no ser adecuados, porque no ofrecen una atenuación de "casi cero" en el rango de frecuencias. Dado que las emisiones de radar y, por lo tanto, el rango de frecuencias a medir están por lo general por encima de 1 GHz, los filtros de YIG son los más adecuados, ya que son eléctricamente sintonizables y actúan como filtros de paso de banda estrecha. Sin embargo, el uso de estos filtros pasa banda requiere de una medición por pasos donde se sincroniza la frecuencia sintonizada del filtro pasa banda con la frecuencia de medición actual de los analizadores. Este requisito lo cumplen mejor los analizadores de barrido, mientras que los analizadores FFT, que cubren un amplio ancho de banda instantáneo, pueden no ser adecuados.

b) Ejemplo de la medición de una emisión de radar no deseada

El siguiente párrafo pretende suministrar una visión general del enfoque que se debe adoptar al llevar a cabo la medición de las emisiones no deseadas en un sistema de radar. Este ejemplo se basa en la medición de la radiación de un radar en la banda de 5 GHz en el sitio y con la rotación de la antena del radar detenida.

Consideraciones preliminares

- En primer lugar, se requiere de un acercamiento teórico para definir y evaluar la cadena de medición apropiada.
- La Tabla 1 de la Recomendación UIT-R SM 329-12 [19] define el rango de frecuencia a considerar (para un radar en 5.6 GHz, la frecuencia superior de la medida debe ser 26 GHz y la frecuencia inferior 30 MHz).

La frecuencia inferior obliga al uso de una antena grande. Considerando el gran rango de frecuencias a cubrir, se requieren dos antenas para la medición.

- La Recomendación UIT-R M.1177-4 [45] define la disposición de medida (RBW 1 MHz), un lapso de la máscara aplicable de 60 dB y un límite entre el OoB y el dominio espurio.

La máscara requiere una cadena de medida con un rango dinámico de, por lo menos, 70 dB.

- El Anexo 8 de la Recomendación UIT-R SM.1541-4 [46] proporciona algunas pautas para definir el ancho de banda necesario (igual al ancho de banda en -40dB). Según los parámetros del radar en este ejemplo, B_{-40} es 15.5 MHz.

Después de estas consideraciones, se requiere establecer un presupuesto de enlace con el fin de encontrar un lugar conveniente para la medición, considerando la E.I.R.P. disponible y el rango dinámico de 70 dB. Este presupuesto también permite definir la ganancia necesaria de las antenas de medición. Al elegir el sitio para la medición, se debe considerar también el ambiente (no debe haber obstáculos dentro de la primera zona de Fresnel, que es la línea de vista hacia la antena del radar).

Cuando se selecciona el sitio, se debe establecer un presupuesto final de enlace, para calcular el máximo nivel posible de recepción de señal en el sitio de medición. Esta información es de gran ayuda en el ajuste óptimo del ángulo de la antena del radar, para optimizar el rango dinámico de la medición.

TABLA 16
Presupuesto de enlace

Potencia nominal del radar	81 dBm
Ganancia de la antena	43.8 dBi
E.I.R.P.	124.8 dBm
Pérdida de trayectoria (3.3 km, espacio libre)	117.8 dB
Nivel a la entrada de la cadena de medición	7 dBm
Medición de la ganancia de antena en la frecuencia central del radar	8.5 dBi
Pérdida de cable	6 dB
Nivel máximo posible a la entrada del analizador	9.5 dBm

Sabiendo que para un analizador de espectro típico, el nivel de potencia de entrada máximo es de +20 dBm (con atenuación máxima) y que el nivel promedio de ruido que se muestra en un RBW de 1MHz es de alrededor de -90 dBm (sin atenuación), el sitio se valida.

Para esta medición se requiere una herramienta de software dedicada que controle el analizador de espectro y recopile los datos.

El principio del programa de monitoreo es el siguiente:

- Configuración del analizador de espectro (RBW 1 MHz, detector de pico, máxima retención de rastreo (maxhold), atenuación 0dB).
- El espectro de frecuencia se divide en porciones de 100 MHz.
- Cada porción es medida por el analizador de espectro con un tiempo de integración de 15 segundos.
- Después de cada medición, los datos del rastreo son registrados por el PC.

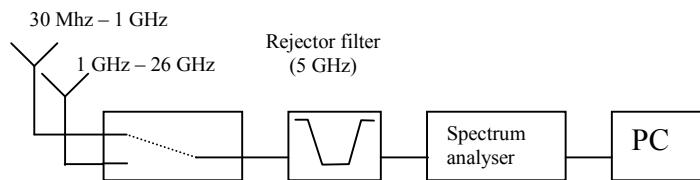
Medición

Antes de comenzar la medición, se debe rotar el radar en dirección al sitio de medición. Para optimizar la orientación del radar se llevan a cabo medidas fundamentales. La dirección del radar se debe ajustar de tal manera que esté lo más cerca posible al nivel de potencia del radar encontrado en el presupuesto del enlace.

El principio de la medida se basa en tres pasos:

- Capturar el espectro de la señal de radar alrededor de su frecuencia central.
- Realizar las medidas a partir de 30 MHz a 26 GHz con la señal de radar encendida.
- Realizar la medida a partir de 30 MHz a 26 GHz con el radar apagado.

FIGURA 74
Configuración de la medición



El primer paso se realiza con un analizador de espectro (atenuación máxima, RBW 1 MHz, lapso 50 MHz, frecuencia central del radar de acuerdo con el fundamental del radar, pico del detector, rastreo en máxima retención). Se hace una primera grabación.

Se realizan los otros dos pasos con la asistencia de software desarrollado. Para estos dos pasos, la disposición de medida se ilustra en la Figura 74.

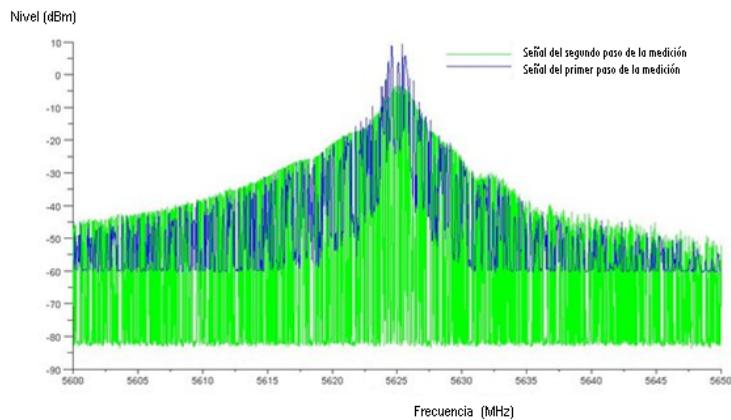
Procesamiento posterior

El procesamiento posterior se realiza en tres pasos:

- ✓ *Paso 1:* Corrección del nivel de las diferentes mediciones.
- ✓ *Paso 2:* Proceso de correlación.
- ✓ *Paso 3:* Aplicación de la máscara del espectro a la señal de radar medida.

El primer paso iguala el nivel de las tres medidas, considerando la atenuación del filtro y diversas atenuaciones del analizador de espectro. El resultado de este primer paso se ilustra en la Figura 75.

FIGURA 75
Corrección de nivel en la frecuencia central del radar



El proceso de correlación se aplica a los datos adquiridos con y sin la señal de radar. Este paso mejora el rango dinámico y debe eliminar las emisiones que no se hayan originado en el radar. Esta operación se ilustra en las figuras 76 y 77.

FIGURA 76
Proceso de correlación

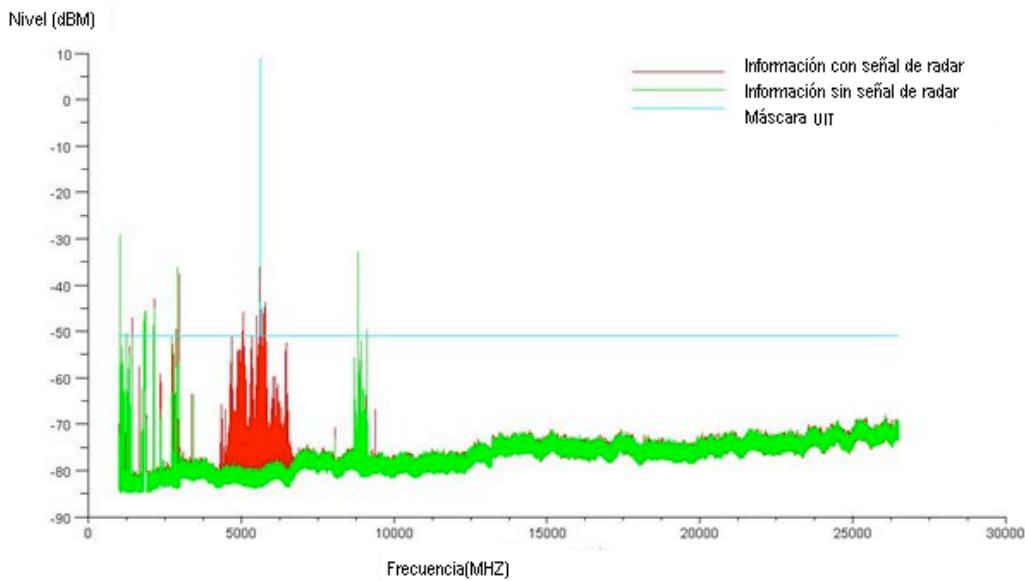
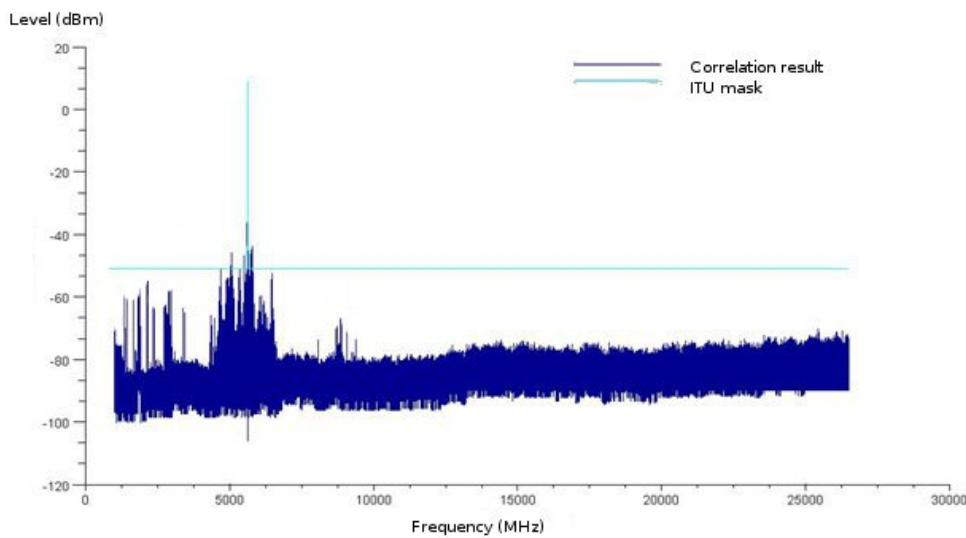
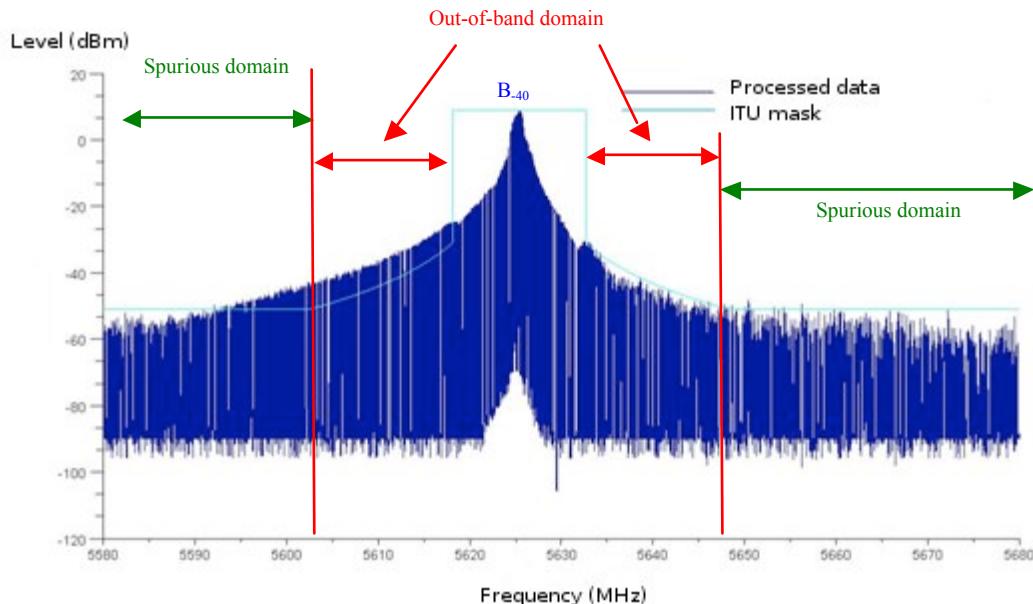


Ilustración de las dos series de información recogida



Resultado del proceso de correlación

FIGURA 77
Máscara UIT y señal del radar



En este caso, no todas las señales externas podrían ser eliminadas. Las razones posibles son un tiempo de integración demasiado corto y el tiempo relativamente largo entre las mediciones 2 y 3.

El paso anterior consiste en aplicar la máscara del espectro a los datos procesados. Esto se muestra en la Figura 76.

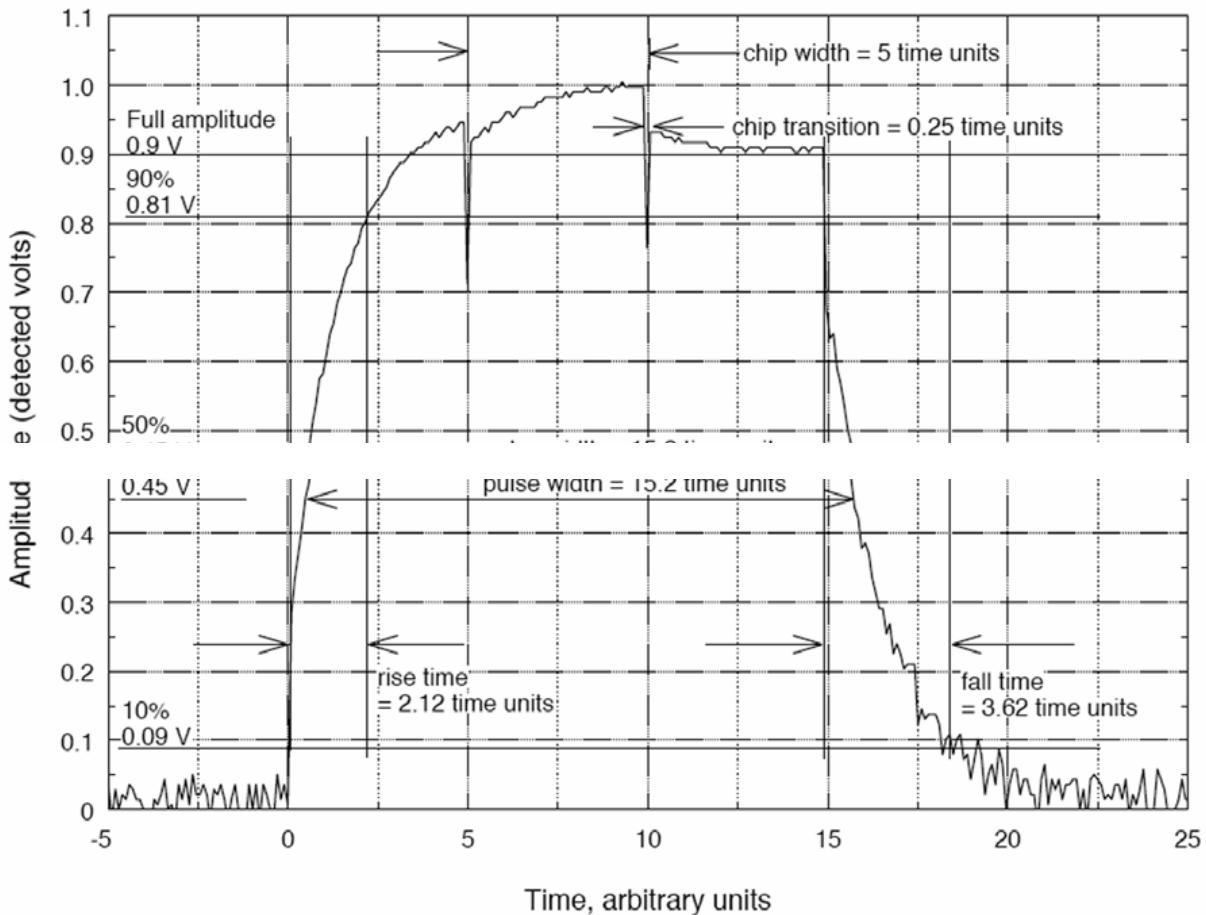
3.3.10.1.10.8 Medición de la fase de modulación de un pulso

En la ingeniería moderna de radares, la compresión de pulsos se utiliza cada vez más para lograr una buena calidad en la resolución de los objetos, a pesar de que los radares tengan alcances más amplios (pulsos largos). Esta compresión de pulsos se puede lograr por fase o modulación de FM del pulso.

La modulación de un pulso se puede medir con un analizador de señales vectoriales. En contraste con un analizador de espectro, el analizador de señales vectoriales muestra, en este caso, no solo la amplitud sobre la frecuencia sino también la fase o frecuencia en el tiempo. Si no hay demasiados cambios de fase, estas características se pueden medir también con un osciloscopio.

FIGURA 78

Ejemplo de pulso modulado en fase



Ejemplo de modulación de fase con cambios trifásicos.

3.3.10.2 MONITOREO DE ENLACES MICROONDAS Y DE ENLACES SATELITALES ASCENDENTES

3.3.10.2.1 Introducción general

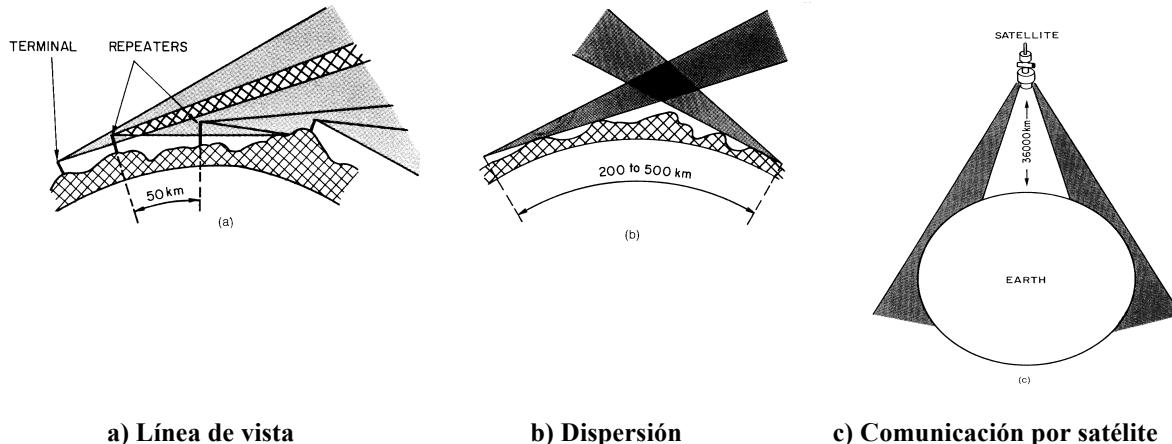
A excepción de un número limitado de enlaces de radio terrestres o sistemas de microondas por debajo de 1 GHz, por lo general se asume que los enlaces de microondas operan por encima de esta frecuencia. Esta sección se ocupa de estos sistemas, cuya detección y control son muy diferentes, en comparación con enlaces de radio clásicos.

La tecnología de los sistemas de radio en las microondas se basa en las posibilidades ofrecidas por las frecuencias altas, de 1 a 100 GHz, a las que corresponden ciertas longitudes de onda muy cortas llamadas microondas ($30\text{ cm} > \lambda > 3\text{ mm}$). Estos dos aspectos permiten obtener amplias bandas base y una radiación muy directiva, particularmente conveniente para la transmisión de una gran cantidad de señales e información de punto a punto.

Se utilizan tres tipos de propagación:

- *De línea de vista (LoS)*: para evitar el problema de la redondez de la tierra, los repetidores, receptores y transmisores se instalan a aproximadamente 50 km. A una serie de saltos de radio se le llama enlace de radio (véase Figura 79a). La propagación es bastante estable.
- *Dispersión troposférica*: para alcanzar una extremidad del salto de radio que estaría más allá del horizonte óptico (véase Figura 79b). La recepción es débil y fluctuante.
- *LoS con un satélite artificial*: colocado en una órbita GSO a una altitud de 36.000 km (véase Figura 79c) y que contiene un repetidor activo y antenas en dirección a la tierra.

FIGURA 79
Tipos de propagación



3.3.10.2.2 Uso de los enlaces de microondas

Los enlaces microondas suelen ser de punto a punto (a menudo con enlaces múltiples o cadenas de repetidores), los sistemas punto a multipunto se están adoptando utilizando la última tecnología. La distancia entre los repetidores cambia dependiendo del mecanismo de propagación y la frecuencia desde varios kilómetros (LoS) a varias decenas de miles de kiló-

metros (satélite). El uso de técnicas digitales para regenerar la señal, generalmente teniendo un índice bajo de señal a ruido en el punto final lejano de un enlace, permite aumentar esta distancia. La directividad de la señal transmitida también permite la extensión. Hoy en día, algunos sistemas operan en frecuencias extremadamente altas EHF, por ejemplo 70 GHz, en donde los enlaces en el orden de 200 m son utilizados actualmente para cámaras de video.

Por otro lado, la comunicación troposférica emplea la capacidad de la troposfera, que actúa como medio reflectivo, para hacer posible la comunicación entre dos puntos a una distancia de varios cientos de kilómetros. La Tabla 17 proporciona información de la comparación entre los dos tipos de propagación LoS y de dispersión troposférica.

TABLA 17

*Comparación de microondas con propagación de línea de vista
(LoS) o de dispersión troposférica*

Ítem	Línea de vista ()	Dispersión troposférica
Canal VF	Hasta 1 800/2 700 por portadora	Hasta 240 por portadora
Tasa de bits	90 Mbit/s o más por portadora	2 400 bit/s a 4 Mbit/s por portadora
Longitud de la trayectoria (km)	1.6-80	80-800
Potencia de transmisión (W)	0.1-10	100-50 000
Figura de ruido del receptor (dB)	4-12	Menos de 4
Diversidad	Ninguna o dual	Dual o cuádruple
Tamaño de apertura de la antena (m)	0.3-4	1.5-40

El tercer tipo de propagación utilizado en la comunicación por microondas es la transmisión y recepción de un enlace de telecomunicación vía satélite. La configuración general de una estación terrena no es tan diferente a la de una terminal de radio-enlace, pero el gran espacio libre de atenuación (unos 200 dB), al que se someten las portadoras de las ondas de radio en su camino entre la estación y el satélite (aproximadamente 36.000 km), por lo general requiere que los subsistemas principales de una estación terrena tengan un nivel de rendimiento superior a los de una terminal de radio-enlace.

Una ventaja principal del uso de enlaces de microondas es que estos se pueden utilizar con grandes anchos de banda para altas velocidades de datos (por lo general, más de 2 Mbits/s hasta 200 Mbits/s, y aun mayores). Los enlaces de microondas son de uso frecuente

para transmitir información digital, señales de audio y video, TV codificada o con audio multiplexado, o cualquier otro tipo de transmisión, que requiera altas velocidades de datos o un gran ancho de banda.

La modulación de enlaces de microondas RF cae dentro de dos tipos bien definidos, que son el análogo y el digital. Muchos de los nuevos enlaces son digitales, pero los enlaces análogos se prevén para el futuro.

3.3.10.2.2.1 Enlace análogo

Los enlaces análogos son generalmente de frecuencia modulada, con una señal de banda base de varios o muchos canales de tráfico multiplexados. Para las comunicaciones de audio multicanal, la estructura de la banda base sigue las convenciones del grupo establecido, grupo maestro y supergrupo, definidas por el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, UIT-T.

Cada una de las señales de audio por separado se puede mezclar, para producir una banda lateral única con portadora suprimida (J3E), en portadoras a intervalos de 4 kHz. Un grupo de 24 canales de voz puede ocupar el espectro banda base desde 12 kHz a 60 kHz (los primeros 12 canales) y 60 kHz a 108 kHz (los últimos 12). Grandes grupos de canales de audio multiplexado pueden ocupar bandas base de hasta un gran número de MHz. Otras señales, tales como las de TV, pueden ser multiplexadas de manera similar.

3.3.10.2.2.2 Enlaces digitales

Los enlaces digitales muestran solo una banda de ocupación del espectro que es visualmente similar al ruido blanco filtrado. No se evidencia inmediatamente en espectros de RF, ya sea que los canales separados de la banda base estén ocupados o no. Es necesario discutir la construcción de estas señales antes de considerar cualquier análisis.

La fuente normalmente será una sola señal digital multiplexada, según lo descrito en la Recomendación G.703 [34] del UIT-T. Esta describe los datos y el protocolo que enmarca los enlaces digitales terrestres. Puesto que el transmisor no tiene ningún control sobre la naturaleza de la señal digital, esta es ordenada exclusivamente por una secuencia digital pseudoaleatoria generada dentro del sistema. Lo anterior, con el fin de evitar señales de microondas sin datos (dispersión espectral) y, en algunos casos, de ofrecer suficientes transiciones digitales para la recuperación de reloj. No hay especificaciones globales para esta secuencia aleatoria que difiere según el fabricante y el equipo.

De manera similar, los métodos de modulación digital también varían, pero pueden ser constantes en cualquier banda, dependiendo de las políticas de la administración de gestión nacional del espectro. Los esquemas QPSK o el diferencial QPSK (D-QPSK) son comunes, pero también se utilizan varios esquemas de modulación de amplitud en cuadratura

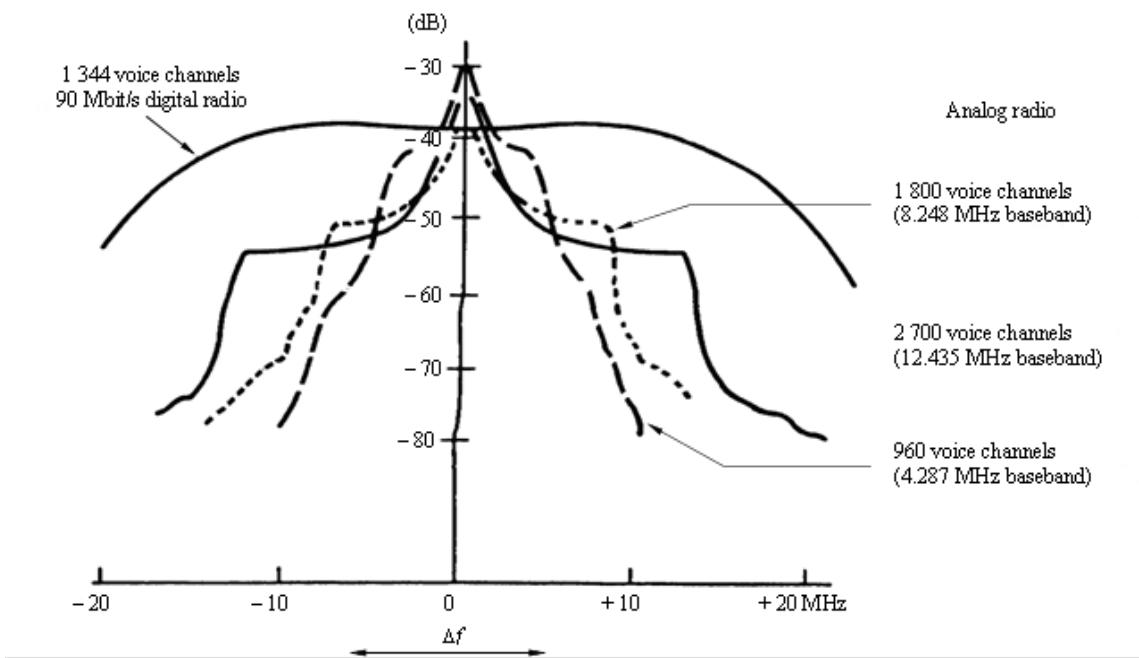
(QAM), lo que representa diferentes formas de fortalecer la eficiencia espectral y el diseño del sistema.

3.3.10.2.2.3 Espectro de salida

El espectro de microondas de la radio análoga (AMR) difiere del espectro de microondas de la radio digital según las indicaciones ilustradas en la Figura 80.

Nótese cómo el espectro de DMR llena casi totalmente la banda, mientras que el espectro de AMR tiene el pico en la frecuencia portadora y las bandas laterales disminuyen gradualmente en amplitud, en frecuencias alejadas de la portadora. Esta característica hace que la AMR sea vulnerable a interferencia por la DMR. Si la banda de frecuencia de una DMR opera demasiado cerca a la de una AMR, la gran amplitud en los bordes de la banda de la DMR puede hundir las bandas laterales de baja amplitud de la AMR, causando una interferencia tan severa que la AMR falla. Este punto hace hincapié en la necesidad de un filtrado adecuado de IF y RF de señales de radio de microondas, cuyas bandas estén operando muy cerca unas de otras en la misma ruta.

FIGURA 80
Comparación de espectros de radiofrecuencia AMR y DMR



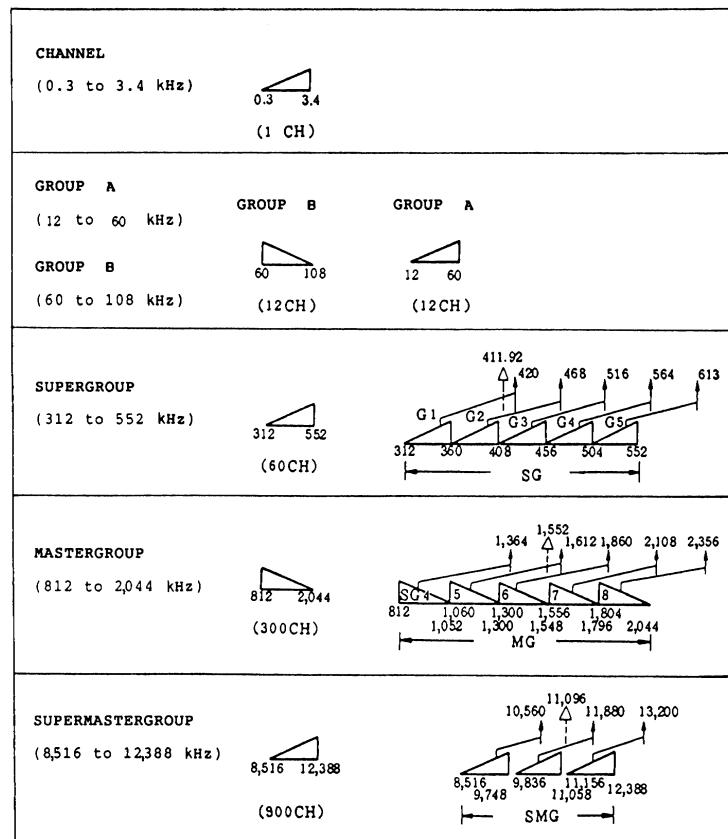
3.3.10.2.2.4 Multiplexación en sistemas de radio de microondas

La multiplexación es el envío conjunto de un número de señales separadas unas de otras, sobre la misma onda portadora, simultáneamente y sin interferencia.

3.3.10.2.2.4.1 Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

La multiplexación por división de frecuencia (véase Figura 81) se ocupa de la combinación de señales continuas o análogas. Se puede entender como una extensión de la transmisión de la banda lateral independiente, a mayor escala. Como se verá, 12 o 16 canales se combinan en un grupo, cinco grupos dentro de un súper grupo, y así sucesivamente, usando frecuencias y arreglos estandarizados a escala mundial. Cada grupo, súper grupo o un agregado más grande es enviado posteriormente como una unidad completa en un enlace de microondas, cable u otro sistema de banda ancha.

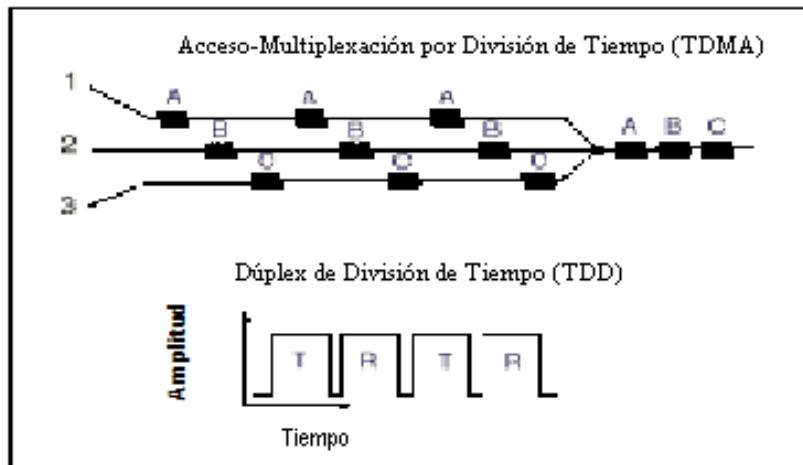
FIGURA 81
Agrupación de frecuencias (FDM)



3.3.10.2.2.4.2 Multiplexación por división de tiempo (TDM)

La multiplexación por división de tiempo (véase Figura 82) es un método de interpolación de pulsos que pertenecen a diferentes transmisiones, en el dominio de tiempo. Su utilización parte del hecho de que los pulsos son generalmente estrechos, y la separación entre los pulsos sucesivos es más bien ancha. Siendo este el caso, siempre y cuando los dos extremos de un enlace estén sincronizados, es posible utilizar los espacios anchos para los pulsos que pertenecen a otras transmisiones.

FIGURA 82
Multiplexación en el tiempo



3.3.10.2.2.5 Operación de monitoreo

A raíz de los avances tecnológicos, el uso de las transmisiones mediante enlaces de microondas de banda ancha se incrementará durante los próximos años (por ejemplo, para los servicios fijos de acceso). La interferencia entre estos sistemas tiene que ser considerada por las administraciones para poder manejar y controlar la parte de microondas del espectro.

Lo anterior incluye:

- Investigación y eliminación de interferencia perjudicial causada por otros sistemas microondas.
- Investigación y eliminación de la interferencia perjudicial causadas por sistemas diferentes a sistemas microondas.
- Cumplimiento de parámetros técnicos.
- Detección de transmisiones ilegales.

El principal obstáculo que se debe superar, para aplicar la regulación que tiene que ver con estos sistemas, es la dificultad para descubrir las transmisiones ilegales, debido a su alta directividad.

El monitoreo de estas transmisiones tiene que realizarse desde unidades móviles, debido al área geográfica reducida y angosta que es cubierta por la señal transmitida y a los niveles de señal que se puedan recibir. Normalmente, para medir un sistema de este tipo, la antena de monitoreo tiene que estar en el haz de la antena microondas transmisora o, de lo contrario, acoplada muy cerca al transmisor o a la línea de alimentación. Un método confiable para que esto se logre es localizar la señal con un fuerte ajuste de la antena, tanto en acimut como en elevación. Utilizando el analizador de espectro para localizar el pico de la señal, la duración del analizador puede ser reducido a cero y el tiempo de barrido puede prolongarse a cerca de 60 S (este tiempo de barrido no es crítico, pero proporciona un trazo visual al cual referirse.) Ajustando la antena en un eje a la vez, se podrá encontrar el pico. Es importante observar más allá del primer pico, para verificar la alineación en el lóbulo principal. Los lóbulos laterales podrán verse desde cualquier lado del lóbulo principal. Una vez que se ha encontrado el pico, el procedimiento se repite para el otro eje.

Si se utiliza un receptor será necesario rastrear mentalmente la señal de su medidor de potencia de señal, para determinar los valores máximos. Una vez que la dirección de la antena se ha optimizado, la duración requerida, el ancho de banda, etc., podrán ser restablecidos en los analizadores de espectro con la configuración apropiada de los modos de detección apropiadamente establecidos.

3.3.10.2.3 Técnicas generales para la medición

La necesidad que tienen las administraciones de monitorear los enlaces de microondas depende de la estrategia adoptada por la administración de frecuencias. Los parámetros básicos que se medirán, generalmente, son:

- Frecuencia portadora.
- Intensidad de campo o PFD.
- Ancho de banda ocupado.
- Desviación de la frecuencia asignada.
- Polarización observada.
- Clase de emisión.
- Identificación de la fuente de señal.

La capacidad para realizar mediciones y observaciones adicionales, más allá de las indicadas anteriormente, es lo deseado para el propósito de modelado de la interferencia. La

adicción de esta capacidad aumenta la eficacia de las instalaciones de monitoreo como herramienta de gestión del espectro. Los parámetros adicionales que pueden ser medidos u observados dependen del tipo de emisión, según la lista que se presenta en la Tabla 18.

Lo anterior se puede realizar mediante:

- Un sistema de interceptación directa o
- Un sistema de interceptación de RF.

TABLA 18
Parámetros de las emisiones para mediciones adicionales

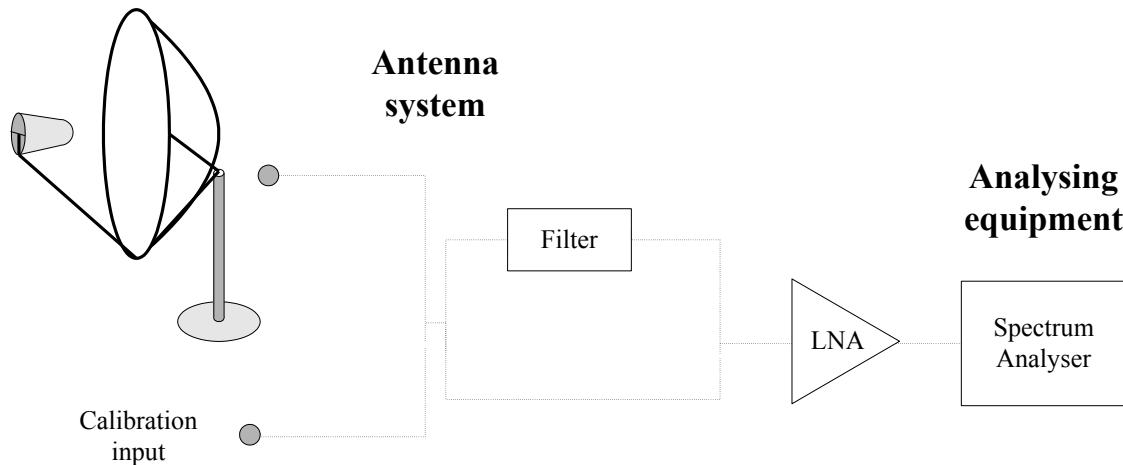
Emisión	Parámetro
FDM-FM	Frecuencia y amplitud de señales de banda base
	Número de voz u otros canales
	Desviación pico de la portadora
	Frecuencia y amplitud de la energía de dispersión de la señal
TV-FM	Frecuencia y amplitud de señales de banda base
	Desviación del pico de la portadora
	Frecuencia y amplitud de la energía de dispersión de la señal
	Características de preéñfasis utilizado
SCPC-FM SCPC: canal individual por transportador	Desviación de picos de las portadoras
	Modulación de frecuencia más alta
	Espaciamiento entre las portadoras
	Número de portadoras por transpondedor
	Ancho de banda ocupado del canal
	Potencia relativa por portadora
Digital (PSK, FSK, SCPC, etc.)	Tasa de bits
	Número de fases
	Número de niveles de amplitud
	Número de portadoras por transpondedor
	Espaciamiento entre portadoras
	Ancho de banda ocupado de los canales
	Potencia relativa por portadora

3.3.10.2.4 Sistema de interceptación directa

En este método, la señal medida o la banda que se pretende inspeccionar es aplicada directamente a los analizadores de espectro o al receptor vía la antena, filtro y alimentador, y no ocurre ninguna conversión en la señal. Este sistema tiene la ventaja de ser simple para configurar y calibrar, facilitando un tiempo de montaje más corto, permitiendo, además, observar fácilmente la medición (véase la Figura 83).

FIGURA 83

Sistema de interceptación directa



Se podrían insertar filtros, para reducir la interferencia, los resultados de la intermodulación, también se podrían insertar amplificadores de bajo ruido LNA (Low Noise Amplifiers, por sus siglas en inglés), para mejorar las características de ganancia y ruido del sistema de medición. Con estos dos elementos adicionales se logra una excelente configuración para medir señales de bajo nivel en presencia de emisiones adyacentes.

Con este método, la limitación en el rango de frecuencia de la medición se debe principalmente a las limitaciones del equipo analizador (que varían hasta alrededor de 40 GHz con la tecnología actualmente disponible).

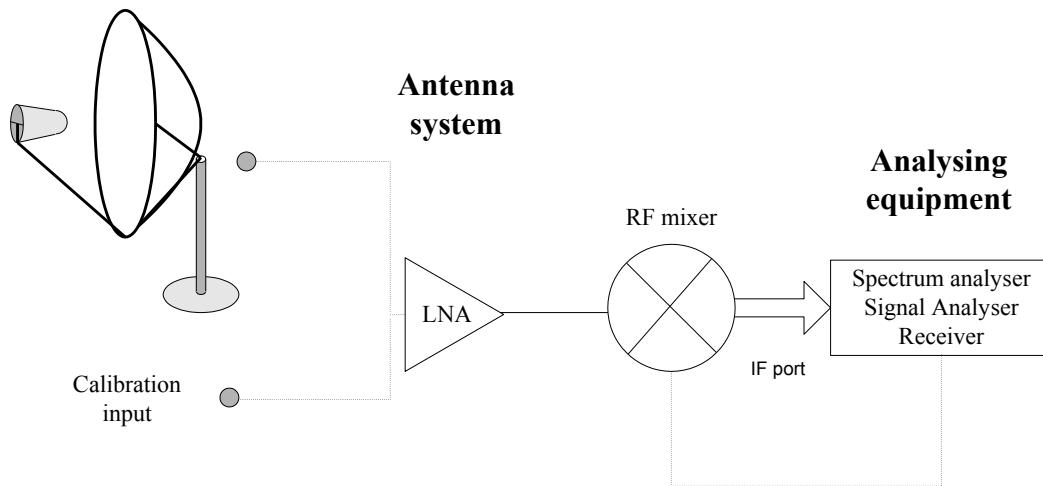
Las desventajas consisten en que las pérdidas del alimentador en frecuencias por encima de 10 GHz pueden ser considerables y perjudiciales para la sensibilidad del sistema de medición. Es esencial que los alimentadores utilizados en este tipo de sistema sean de la más alta calidad y que las características de RF y las condiciones físicas del cable sean verificadas regularmente. En la mayoría de las circunstancias donde se requieren mediciones por encima de 10 GHz, la longitud del alimentador deberá ser menor de 1 m.

3.3.10.2.5 Sistema de interceptación por medio de mezcladores de RF

Con este método, la señal medida o la banda que se pretende inspeccionar se aplica directamente a un mezclador o a un conversor de bajada vía la antena, filtro y alimentador. La conversión de la señal ocurre y luego se aplica al analizador o receptor de espectro en una frecuencia menor (véase la Figura 84).

FIGURA 84

Sistema de interceptación utilizando mezcladores de RF



Los LNA se insertan generalmente para mejorar las características de ganancia y ruido del sistema de medición.

El mezclador de RF extiende el rango de frecuencia del equipo de análisis. Existen dos conceptos disponibles: 1) vía mezcladores de diodo sencillo y b) mezcladores de diodo doble. Debido a su diseño, los mezcladores de diodo doble ofrecen respuesta de frecuencia plana y no requieren voltaje de polarización adicional lo que los hace especialmente convenientes para las mediciones automatizadas.

Con este método, el rango de frecuencia que puede ser cubierto es más alto (por ejemplo, de 18 GHz a 325 GHz) que con el método de monitoreo de interceptación directa, dependiendo de las características del mezclador de RF y los LNA, y del sistema de la antena de monitoreo.

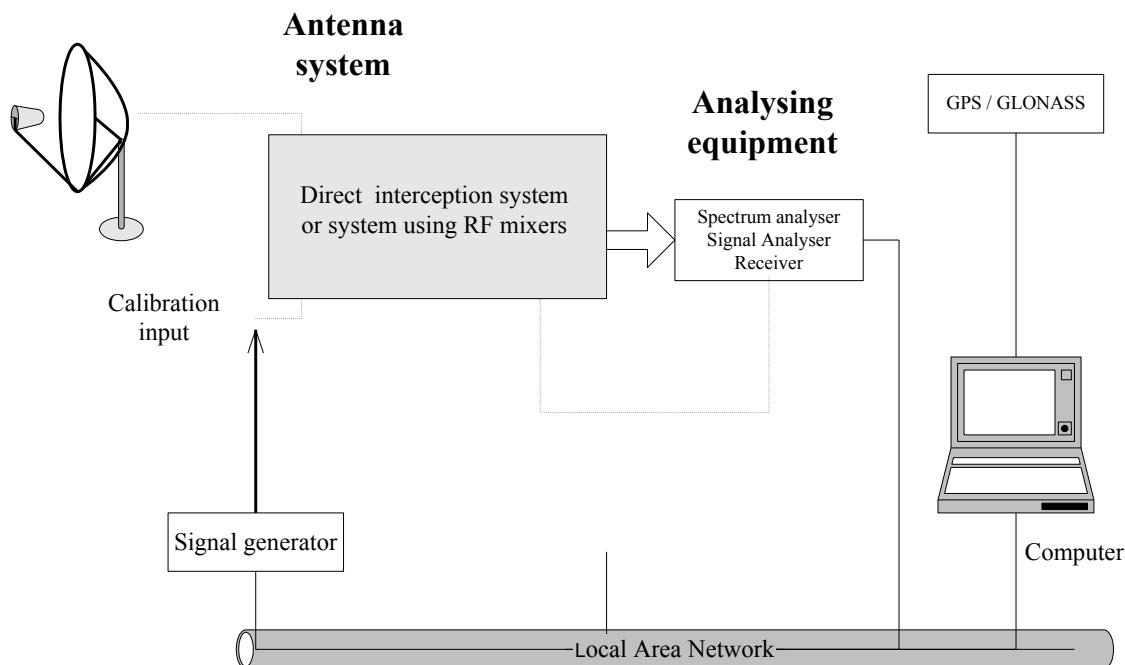
Las desventajas de este sistema son una menor sensibilidad del sistema de medición debido a las pérdidas de conversión y a los altos índices de ruido del mezclador, incertidumbres de calibración debido a las características de derivación del mezclador y lo plano de la banda, también problemas de intermodulación, interferencia de sistemas de gran potencia operando en o cerca de la frecuencia de conversión descendente.

3.3.10.2.6 Equipo para los vehículos de monitoreo

Un diagrama de bloque de una unidad de monitoreo en microondas se muestra en la Figura 85.

FIGURA 85

Unidad de monitoreo de microondas



3.3.10.2.6.1 Sistema de antena

El tipo de antena elegido dependerá del tipo de medición que se quiera realizar. Ciertos tipos de antena tendrán características más convenientes para una tarea determinada de medición. Por ejemplo, una antena de cuerno sería más apropiada para una inspección polar, para determinar las señales presentes en la banda 360° alrededor del lugar de medición, mientras que una antena de tipo plato sería más apropiada para determinar la dirección de búsqueda de una señal de una sola fuente.

Las antenas de cuerno tienden a ser más robustas y más livianas que las antenas tipo plato y son normalmente más fáciles de desplegar en un escenario transportable de medición. Son también más estables en condiciones ventosas asociadas normalmente con locaciones de medición altas. La compensación entre la antena de cuerno y la antena de plato es que las antenas de cuerno normalmente tienen índices menores de ganancia comparadas con las antenas tipo plato. La estabilidad de la antena será un factor importante en frecuencias más altas donde las amplitudes en el haz de las antenas son menores.

Después de estas consideraciones generales se puede introducir la siguiente recomendación, según el rango de frecuencia.

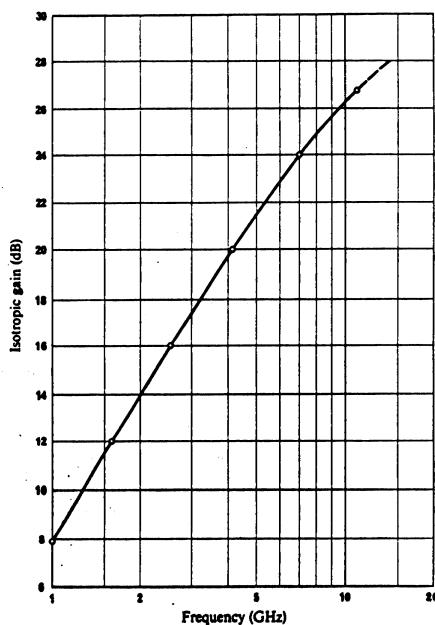
3.3.10.2.6.1.1 Rango de frecuencia de 1 a 18/26 GHz

Se requiere una antena parabólica de banda ancha con un diámetro de 90 cm, similar al de un reflector, o una antena log-periódica, junto con un preamplificador integrado y una red de cambio de polarización para el punto de la alimentación. La polarización debe ser seleccionable del lineal X, lineal Y, polarización circular izquierda (LHCP) o polarización circular derecha (RHCP).

En el vehículo, los siguientes elementos podrían incluirse: filtro YIG, con un ancho de banda de 35 MHz, o más amplio, y una frecuencia ajustable de 1 a 18 GHz, y un LNA con una ganancia típica de 40 dB. Una ganancia de antena normal de 1 a 20 GHz, del tipo mencionado anteriormente, se muestra en la siguiente figura.

FIGURA 86

Ganancia típica de una antena log-periódica direccional calibrada con un reflector de 60 cm de diámetro, en función de la frecuencia



3.3.10.2.6.2 Rango de frecuencia 18-26 GHz y 26-40 GHz

Se puede utilizar una antena cuerno con una ganancia estándar (un diámetro del reflector de la antena de cerca de 1/3 metros). Las unidades de la antena para los rangos de frecuencia de 18-26 GHz y 26-40 GHz podrían formar una unidad junto con la antena cuerno. En el vehículo se podrían incluir un LNA con un aumento de 30 dB, y un conversor de bajada.

3.3.10.2.6.3 Equipo de análisis

Se deben considerar dos casos principales, dependiendo del tipo de interceptación:

1) Sistema de interceptación directa:

Los receptores tradicionales sintonizados en hasta 3 GHz se pueden utilizar con varios filtros y detectores, por ejemplo, SSB, ISB, etc., cubriendo un rango tan abajo como 12 kHz para demodular los canales individuales de audio. Los analizadores de espectro actualmente disponibles son de hasta por lo menos 40 GHz.

2) Sistema de la interceptación por medio de mezcladores de RF:

Se pueden utilizar todos los equipos de monitoreo actualmente disponibles (espectro tradicional/analizador o receptor de señal) cubriendo la banda IF. Los puertos de salida del sistema IF deben ser ajustados en amplitud y contar con lazos de seguimiento de fase con el subsistema RF, para permitir un análisis exacto de la señal de RF en la frecuencia intermedia con conversor de bajada.

Los siguientes dispositivos se pueden conectar al puerto de salida de IF:

- *Analizador de pulsos*: para la medición exacta de los pulsos del radar (con resolución hasta de 1 ns).
- *Osciloscopio digital*: osciloscopio de 500 MHz para el análisis de señales repetitivas.
- *Analizadores de intervalos de tiempo y frecuencia*: analizadores en tiempo real con una capacidad de muestreo de 250 muestras/segundo y con un ancho de banda en el orden de 110 MHz.

Para el análisis de señales moduladas, los analizadores de señales vectoriales o analizadores de espectro FFT se pueden utilizar para obtener una demodulación exacta (AM, FM, PM, digital), mediciones de espectro de banda estrecha (300 Hz -3 MHz) y mediciones con una resolución de alta frecuencia (<0.001 Hz) y precisión (± 0.1 PPM).

3.3.10.2.6.4 Equipo de calibración

Hay varias maneras en las que un sistema de medición puede ser calibrado o verificado de forma confiable antes de realizar mediciones.

Método Beacon

El procedimiento para este método de calibración es situar una fuente temporal operando en una frecuencia cercana a la señal RF o en la banda que se pretende investigar, considerando otros usuarios y el potencial de interferencia para los usuarios autorizados.

Las antenas en la fuente y en el sitio de medición deben ser direccionadas exactamente por medio de posicionadores para lograr una calibración precisa. Se debe realizar una medición exacta de la distancia entre la luz del espectro y las antenas de medición, para poder calcular la pérdida en trayectoria por espacio libre (FSPL) entre las antenas, en la frecuencia de la calibración. Un divisor de señal calibrado, un generador de señal y un medidor de potencia calibrados se requieren para guiar la antena Beacon.

En este método, la potencia recibida se puede comparar con los cálculos derivados de los datos del sistema en forma de tablas, con información sobre la antena, el amplificador, el filtro y los cables.

El método Beacon es ideal para inspecciones muy largas y permite que el sistema de medición sea verificado constantemente durante el periodo de evaluación. La desventaja del método es que se requiere una cantidad considerable de equipos de prueba para realizar la calibración. Esto podría causar dificultades en sitios tales como tejados donde el equipo necesitaría ser transportado y donde el espacio puede ser limitado.

Este método evalúa todos los componentes en el sistema de medición incluyendo la antena.

Método de substitución de la señal

En este método se requiere un punto de inyección de señal, en lugar de la antena de medición, para injectar un nivel de señal conocido desde un generador de señales calibrado. Este método calibrará el sistema de medición incluyendo los filtros, los amplificadores y los alimentadores. La antena de medición requerirá por lo menos un certificado anual de calibración expedido por una instalación de prueba. Para los sistemas de medición ajustados con antenas cuernos (bocina) y amplificadores guía-ondas, se requiere un guía de onda de acooplador cruzado ajustado entre la salida del cuerno y la entrada del amplificador, para inyectar una señal de calibración. La antena de cuerno también requerirá un certificado de calibración expedido por una instalación de prueba.

Se requiere que la característica de respuesta de la antena con el cable de conexión y el aumento de cualquier preamplificador sean conocidos, para poder medir niveles de señal RF a una exactitud de 3 dB a 6 dB, en el peor de los casos.

El propósito del generador de señal es producir señales de referencia.

Sus características recomendadas son las siguientes:

- Sintetizador de frecuencia espectralmente puro.
- Rango de frecuencia de 0.01-40 GHz.
- Pulso externo, modulación de AM y FM.
- Resolución de frecuencia de 1 Hz.
- Rango dinámico del nivel de salida de -90 a cerca de +10 dBm.
- Armónicos <-20 dBc.
- Medición de una fuente conocida

Al realizar mediciones con equipo transportable en locaciones tales como tejados de edificios altos, no siempre es posible contar con equipos de calibración. En ocasiones, para verificaciones básicas de confiabilidad en estos ambientes remotos es posible medir una fuente de señal estable y conocida, operando en o cerca de la frecuencia de medición. En estas circunstancias las señales satelitales pueden ser una fuente confiable de calibración básica.

3.3.10.2.6.5 Sistema de navegación y posicionamiento

El vehículo de monitoreo se debe equipar con un sistema de navegación y posicionamiento para habilitar la determinación exacta de la posición (coordenadas geográficas) y capacidad de rodamiento del vehículo (orientación acimutal).

El receptor del sistema de posicionamiento instalado en el vehículo puede satisfacer otras tareas:

- Patrón de frecuencia (exactitud de frecuencia de 1×10^{-11}).
- Información de la fecha actual y del tiempo (YY-MM-DD y hh:mm:ss.sss).

3.3.10.2.6.6 Manejo de la rotación y soportes telescopicos

Las antenas de medición se pueden instalar directamente sobre una placa giratoria biaxial (con características típicas de acimut de 370° ; elevación de -20° a $+90^\circ$; exactitud de posicionamiento de 0.1°), sujetada a un mástil cuya base debe rotar. El equipo se debe configurar para un montaje y desmonte rápidos, para poder ser transportado.

El vehículo puede adecuarse con soportes telescopicos o ajustables para asegurarse que el plano rotatorio sea horizontal. Los soportes se podrían ajustar desde el interior del vehículo. La coordinación de la placa giratoria con el norte verdadero se logra con la ayuda de una brújula giroscópica.

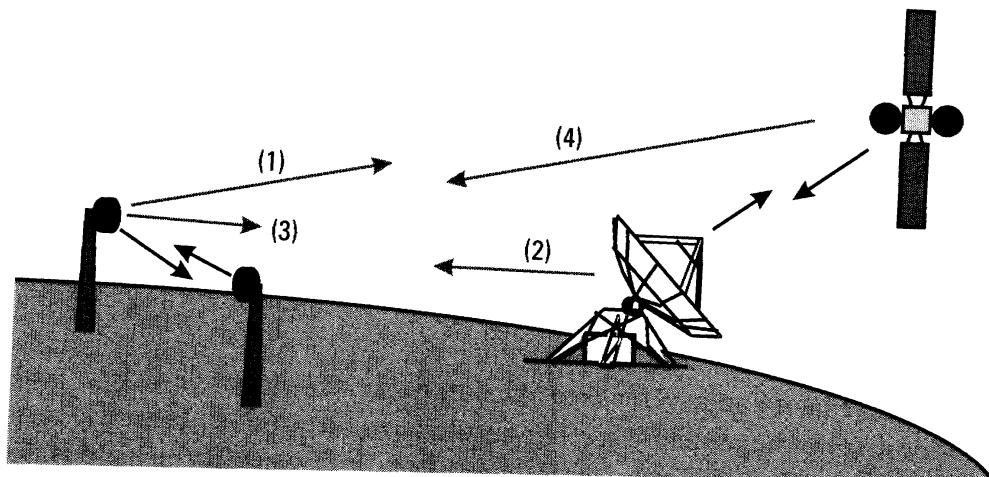
3.3.10.2.7 Compartición del servicio fijo por satélite con el servicio fijo

3.3.10.2.7.1 Interferencia FSS y FS

Existe un número estándar de trayectorias de interferencia, conocidos como mecanismos de interferencia, que se encuentran en los servicios de comunicaciones satelitales y terrestres a través de microondas (véase Figura 87). Estos servicios son controlados mediante diferentes mecanismos regulatorios, incluyendo la coordinación de frecuencias. La operación normal de los enlaces respectivos es indicada por las flechas cortas continuas, que proporcionan transmisión completa en modo dúplex. Las trayectorias de interferencia, indicadas por los números de trayectoria de 1 a 4, se pueden describir de la siguiente manera:

FIGURA 87

Interferencia potencial entre los enlaces por satélite y los enlaces de microondas terrestres que utilizan la misma banda de frecuencias



Trayectoria 1: Radio interferencia terrestre al interior del receptor de enlace ascendente del satélite. El satélite es protegido por un límite en la potencia máxima radiada de la antena de microonda terrestre y por una estipulación en cuanto a que estas antenas no deben ser dirigidas hacia la órbita GSO. Como resultado de la baja potencia radiada por las estaciones terrestres, en la práctica no se experimenta interferencia de este tipo. Una posible excepción pueden ser los enlaces de dispersión troposférica con alta potencia que utilizan antenas del tamaño de una cartelera.

Trayectoria 2: Interferencia de la estación terrena al interior del receptor de radio terrestre. Este es el caso más importante de interferencia para determinar si una estación de transmisión terrestre puede ser operada en un sitio en particular. La radiación a lo largo de la trayectoria 2 está en los lóbulos laterales de la antena de la estación terrena y propaga hacia el receptor terrestre a lo largo de una variedad de trayectorias. La UIT cuenta con regulaciones y procedimientos para la coordinación de estaciones terrenas en un país, que pudieran interferir con enlaces de microonda terrestres en países adyacentes.

Trayectoria 3: Radio interferencia terrestre al interior del receptor de enlace descendente de la estación terrena. La antena de la estación terrena se podría blindar del transmisor terrestre, técnica que se podría aplicar también a la trayectoria 2.

Trayectoria 4: Interferencia satelital en el receptor de radio terrestre. El nivel de radiación de un satélite es normalmente demasiado débil como para preocupar a los receptores terrestres. El RR [18] determina una PFD máxima permitida del satélite a la superficie de la tierra.

La trayectoria 2 es de interés para la transmisión de estaciones terrenas mientras que la trayectoria 3 debe ser abordada por cualquier sistema de recepción satelital en tierra.

3.3.10.2.7.2 Métodos de análisis

Las interferencias provocadas a las estaciones terrenas de comunicación satelital, así como a las estaciones terrestres que comparten las mismas bandas de frecuencia, se puede evaluar usando la técnica de cálculo portadora-a-interferencia C/I . Para la geometría de la estación de recepción terrestre ilustrada en la Figura 69, la ecuación C/I se puede expresar en dB de la siguiente manera:

$$C/I = (G(0) - G(\Theta)) + (P_t - P'_t) + (G_s - G') - 20 \log\left(\frac{R}{R'}\right) \quad (20)$$

Donde:

$G(0)$: ganancia de la antena de la estación terrestre en dirección al satélite

$G(\Theta)$: ganancia de la antena de la estación terrestre en dirección a la estación terrestre

P_t : potencia de transmisión del satélite hacia su antena

P'_t : potencia de transmisión de la estación terrestre hacia su antena

G_s : ganancia antena satelital en dirección a la estación terrestre

G' : ganancia de la antena terrestre en dirección a la estación terrestre

R y R' : distancias entre la estación terrestre, y la estación terrena y satelitales

La ecuación muestra los términos que son diferentes en dB, entre los contribuidores deseados e interferentes. Una manera más simple de examinar el problema es en términos de un presupuesto de interferencia, que no es más que dos enlaces de presupuesto: uno para la trayectoria deseada y el otro para la trayectoria no deseada o interferente. C/I es la diferencia en dB, entre la potencia deseada de la portadora recibida y la interferente.

Un ejemplo de un presupuesto de interferencia se presenta en la Tabla 19, para la geometría de interferencia indicada en la Figura 88.

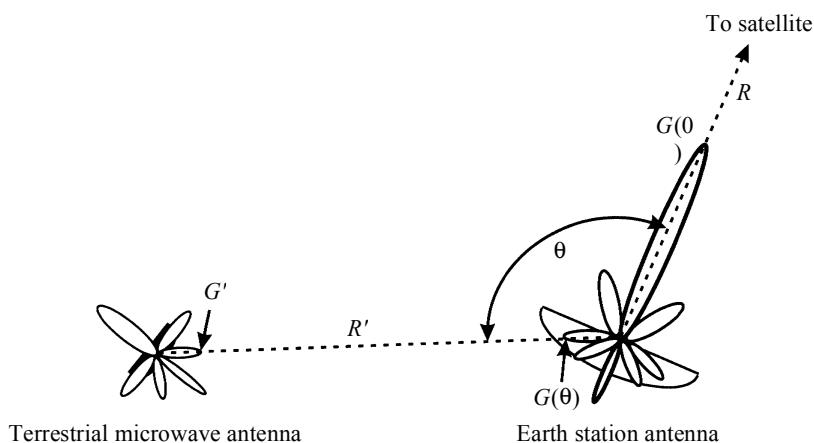
TABLA 19

Presupuesto de interferencia del transmisor para un enlace video digital interferido por una microonda terrestre (los transmisores operan en la misma frecuencia)

Factor	Valor
<i>Señal deseada (transmitida por satélite)</i>	
Potencia de transmisión del satélite por portadora en el puerto de la antena (W)	20
Ganancia de la antena del satélite en dirección a la estación terrena (dBi)	30
E.I.R.P. del satélite en dirección a la estación terrena (dBW)	43
Pérdida de espacio libre (dB)	196.2
Pérdida atmosférica (sin lluvia) (dB)	0.1
Ganancia de antena de la estación terrena (plato de 3 m) (dBi)	39.8
Potencia recibida deseada de la portadora (dBW)	-113.5
<i>Señal no deseada (transmitida por la estación de microonda terrena)</i>	
Potencia de transmisión por portadora en el puerto de la antena (W)	10
Ganancia de la antena transmisora en dirección a la estación terrena (dBi)	0
E.I.R.P. de microonda terrena en dirección a la estación terrena (dBW)	10
Pérdida de espacio libre (camino 8.5 km) (dB)	132.1
Blindaje del terreno (dB)	20
Ganancia de la antena de la estación terrena en dirección a la estación de microonda terrena (dBi)	0
Potencia de interferencia recibida (dBW)	-142.1
Relación portadora -a- interferencia (C/I) (dB)	28.6

FIGURA 88

Geometría de interferencia para interferencia terrestre en recepción, en una estación terrena con una antena de gran diámetro



Hay varios asuntos importantes que se presentan al evaluar C/I de este modo. Algunos se relacionan con las características físicas reales que son modeladas y que se han de observar (por ejemplo, la ganancia del lóbulo lateral de la estación terrena y de las antenas de microonda terrestres, así como la cantidad de blindaje u obstrucción previstas del terreno), mientras que otros son de naturaleza estadística (por ejemplo, la absorción atmosférica y propagación de dispersión troposférica de la señal de microonda terrestre).

El análisis en la Tabla 19 hace ciertas presunciones sobre la intensidad de la interferencia. La estación terrestre está a 8.5 km de la estación terrena y la trayectoria se encuentra parcialmente obstruida (por ejemplo, con 20 dB de blindaje contra montañas). A un valor C/I de 28.6dB, la interferencia sería perceptible y podría requerir de consideración adicional.

Las pérdidas de propagación, distintas a la pérdida en espacio libre, pueden representar un reto importante para cualquier persona que pretenda estimar un presupuesto realista de interferencia antes que puedan llevarse a cabo las mediciones en el terreno. Otros factores sobre la estación terrena y el funcionamiento de las antenas terrestres, particularmente en los lóbulos de las regiones traseras y laterales, son difíciles de evaluar.

3.3.10.2.7.3 Fase de búsqueda terrestre en una investigación de interferencia de satélite GSO

3.3.10.2.7.3.1 General

La interferencia puede plantear una gran amenaza para las comunicaciones basadas en satélites GSO y para la industria de la radiodifusión. Mediante mediciones de geolocalización, explicadas en el subcapítulo 3.3.10 de este título, la interferencia puede ser localizada dentro de un área elíptica de decenas de cientos de kilómetros cuadrados. Esto se debe considerar como una gran ventaja en comparación con la cobertura de enlaces ascendentes de los satélites, dentro de la cual podría presentarse la interferencia.

En muchos casos, el resultado de la geolocalización ayudará al operador del satélite a determinar la interferencia por medios técnicos o de procedimiento, especialmente para aquellos usuarios que interfieren con equipos defectuosos. Sin embargo, en algunos casos en los cuales la interferencia es causada de manera intencional o el operador no puede encontrarla, es necesaria una investigación conocida como “búsqueda terrestre”. Esto plantea otro problema para el personal de monitoreo, debido a las dificultades para recibir señales débiles del lóbulo lateral del transmisor. Estas señales débiles transmitidas por los lóbulos laterales son monitoreadas normalmente, por el equipo portátil o el equipo instalado en los vehículos móviles. La fase de búsqueda terrestre de una investigación por interferencia puede ser conducida con enfoques convencionales, o adoptando los algoritmos previos a DSP para perfeccionar la sensibilidad del sistema de medición. Estas aproximaciones se discuten en el siguiente apartado.

3.3.10.2.7.3.2 Enfoques convencionales que utilizan antenas direccionales u omnidireccionales

La detección de la interferencia se puede lograr mediante una antena direccional de recepción, como una antena de cuerno, amplificadores LNA y equipos de recepción tales como analizadores de espectro. El equipo portátil se debe llevar normalmente a las localizaciones más altas, para evitar la reflexión en la mayor medida posible. El operador puede encontrar la ubicación del transmisor combinando diversos resultados DF. Esta suele ser una tarea difícil porque generalmente requiere llevar a cabo la medición en la cima de altos edificios, especialmente en zonas urbanas. Otra desventaja es que la energía eléctrica no está siempre disponible en tejados; por lo tanto, se requieren baterías de larga duración para los analizadores de espectro.

Una antena omnidireccional también puede utilizarse en la búsqueda terrestre. En la mayoría de las ocasiones, un vehículo de monitoreo equipado con un receptor de antena omnidireccional, amplificadores LNA y analizadores de espectro se puede usar para detectar la señal del transmisor. El operador debe considerar dos desventajas de la solución de antena omnidireccional: la baja ganancia de la antena y que solo es posible conducir el monitoreo a lo largo del camino, porque el equipo normalmente se instala en el vehículo.

3.3.10.2.7.3.3 Uso de algoritmos de correlación cruzada para mejorar la sensibilidad de sistema

Un vehículo de monitoreo capaz de recibir señales de direcciones espaciales y terrestres se utiliza también en la búsqueda terrestre (véase la Figura 89, para un ejemplo de este tipo de vehículo). En lugar de los analizadores de espectro, el módulo DSP se utiliza para capturar las señales por debajo del piso de ruido y mejorar la sensibilidad del sistema de monitoreo. Un diagrama de bloques de este sistema se puede encontrar en la Figura 90. En esta aproximación se utiliza el algoritmo de correlación cruzada en el módulo DSP, para procesar señales del satélite por separado del satélite por antena parabólica y del transmisor por antena de cuerno o antena omnidireccional directamente.

FIGURA 89

Ejemplo de un vehículo de monitoreo capaz de recibir señales de direcciones espaciales y terrestres



A continuación se muestra un diagrama de bloques para esta solución.

FIGURA 90

Diagrama de bloques para la solución de correlación cruzada

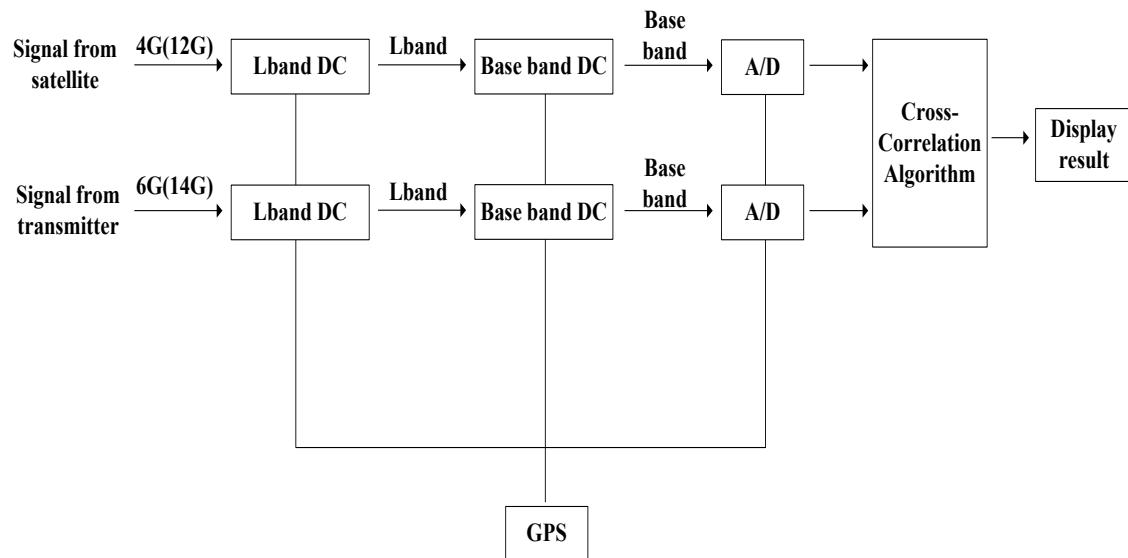
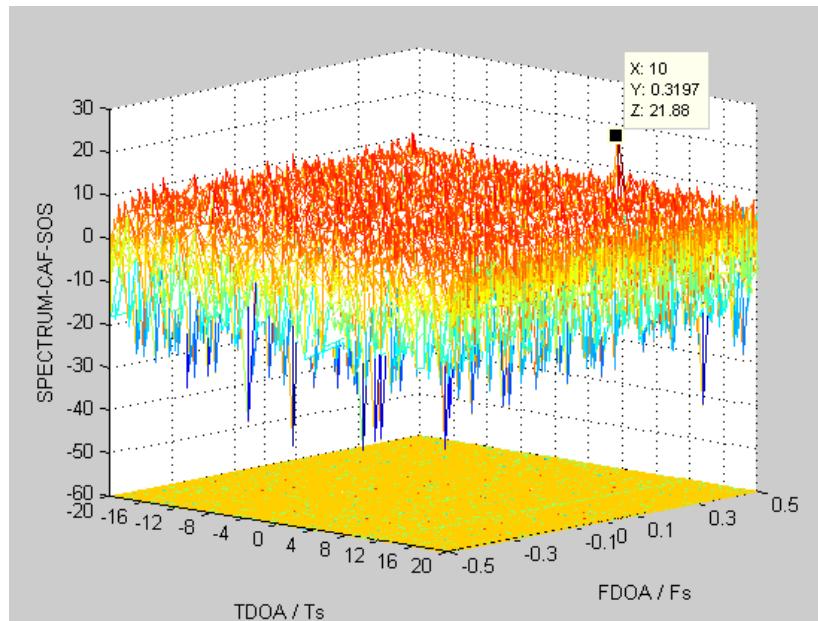


FIGURA 91
Superficie de correlación cruzada



En la práctica, la antena direccional gira en un cierto ángulo seguido por un proceso de correlación. Después de girar 360 grados, el operador puede encontrar la dirección del transmisor cuando la correlación SNR de ambos canales (espacial y terrestre) se maximiza, incluso cuando el nivel de la señal terrestre es demasiado débil como para ser observado en los analizadores de un espectro (ver Figura 91).

3.3.10.2.7.4 Seguridad

Son muchos los inconvenientes de seguridad asociados con este tipo de mediciones. Estos inconvenientes surgen a partir de los problemas asociados con la exposición a RF y al tipo de ambientes en los que se deben desplegar los equipos. La mayoría de las mediciones implican que el equipo sea desplegado en tejados de edificios altos y aún en plataformas más-tiles de comunicación, por lo que habrá muchos peligros implicados en este tipo de medición. Puede también haber riesgos por exposición a RF debido a otros sistemas microonda operando cerca del lugar de medición. Es recomendable realizar evaluaciones de riesgos muy completas antes de iniciar la medición.

Es importante recalcar que es un deber del personal asegurar para sí prácticas seguras de trabajo. Esto tiene particular importancia cuando se debe trabajar en alrededores desconocidos y cuando se puede llegar a estar bajo fuerte presión por resolver interferencias o cal-

mar situaciones políticas. El personal de monitoreo debe asegurarse de que entiende los riesgos asociados al ambiente y a las mediciones realizadas y asegurarse de que otras personas presentes sean conscientes de cualquier riesgo y hayan tomado las medidas apropiadas para protegerse.

La seguridad es de suma importancia, no solo para el equipo de trabajo de medición, sino también para el resto de personas que trabajan en o cerca del lugar de la medición. Todos los cables, antenas y equipos de prueba deben poderse ver claramente para evitar accidentes. En el caso de los emisores de potencia alta se debe conducir una prueba de exposición a RF básica, que consiste en medir la intensidad de campo en las posiciones donde el equipo de trabajo está operando. Una antena o un medidor de dosis calibrado se pueden utilizar para determinar el riesgo. Las mediciones calibradas de exposición deben realizarse con un número mínimo de personal hasta tanto se cuantifique la situación.

3.3.10.3 MONITOREO DE SISTEMAS CELULARES

3.3.10.3.1 Introducción

En el contexto de esta sección, el término “sistemas celulares” se utiliza para abarcar todos los sistemas de radio móviles que ofrecen acceso directo o indirecto a redes de telecomunicaciones públicas, tales como redes de teléfono público o internet. Considerando las diferencias en la arquitectura de las redes y el grado de movilidad, que tienen consecuencias en las funciones y procedimientos de radio monitoreo, los sistemas celulares se dividen en las siguientes categorías:

- Sistemas de radio celulares.
- Sistemas de comunicación personal (PCS).
- Sistemas móviles vía satélite (MSS).
- Acceso inalámbrico de banda ancha.

3.3.10.3.2 Sistemas y patrones de radio celulares

Los sistemas de radio celulares ofrecen acceso móvil a la red telefónica pública conmutada (PSTN). Existen diferentes estándares para los sistemas de radio celulares que operan hoy en día en el mundo entero. Los nuevos sistemas mejorados continuarán siendo instalados en respuesta a la demanda de servicios móviles de voz y datos de alta calidad.

Estos nuevos sistemas, sin embargo, proponen retos adicionales a las administraciones de telecomunicaciones encargadas del monitoreo del espectro y la aplicación de la normatividad. Las estaciones de radio monitoreo equipadas con la tecnología universal conven-

cional pueden tener dificultades al detectar y monitorear sistemas de radio celulares. Deben instalarse nuevos equipos en estaciones de radio monitoreo y emplearse nuevas técnicas para ir al paso de los avances en diseño de sistemas de radio celular.

Los sistemas de radio celulares son diferentes de otros sistemas de radio móviles y terrestres de varias maneras.

Estos sistemas ofrecen:

- Creciente capacidad de llamadas para acomodar un número mayor de usuarios.
- Calidad de servicio mejorada sobre áreas geográficas más grandes.
- Una mejor utilización de la frecuencia del espectro radioeléctrico.

Los sistemas de radio celulares que utilizan patrones análogos han estado en operación en el pasado en muchas partes alrededor del mundo. Sin embargo, tales sistemas han sido reemplazados casi universalmente o actualizados a sistemas de radio celulares digitales. Los patrones análogos fueron conocidos como la primera generación de sistemas de radio celulares. El monitoreo de estos sistemas no se cubre detalladamente en esta sección.

La limitación básica de cualquier sistema de radio celular es la disponibilidad de frecuencia en el espectro radioeléctrico. Todos los sistemas de radio celulares hacen una reutilización de frecuencia (canal) y la mayor parte de ellos permiten entregas controladas entre áreas geográficas definidas, conocidas como células. El tamaño de una célula es determinado por el área geográfica de cubrimiento de la intensidad de una señal determinada, desde una estación base transmisora operando dentro de esa célula.

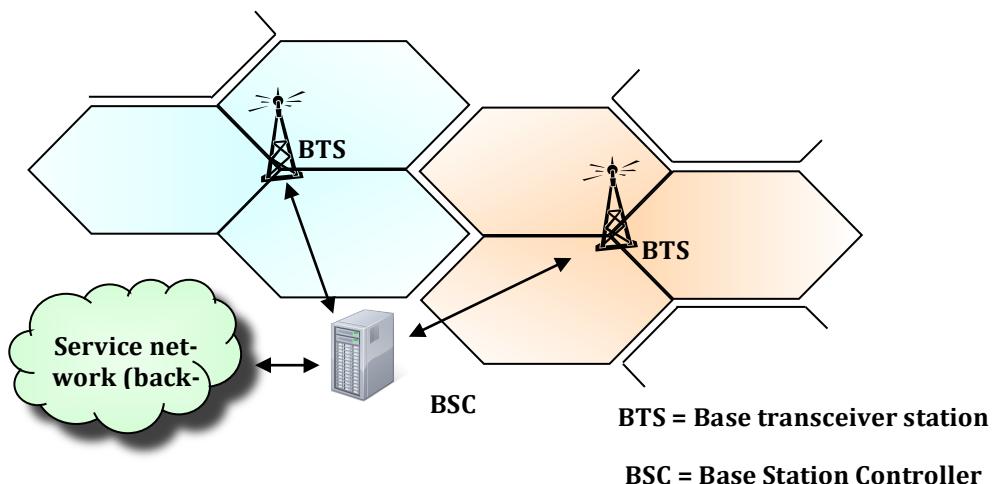
La Figura 92 muestra la arquitectura simplificada de un sistema de radio celular digital usando el ejemplo de GSM. Para minimizar el número de estaciones base, normalmente se colocan en la intersección de tres células hexagonales que son abastecidas individualmente por antenas direccionales en el sector con un ángulo de apertura de 120°.

Un proceso llamado *handover* (traspaso) cambia automáticamente el mando de la terminal móvil (manos libres u otro equipo móvil del usuario) y la conexión a la célula adyacente, cuando se traslada a una nueva área geográfica cubierta por una estación base transceptora diferente (BTS), que opera generalmente con una o más de las siguientes técnicas:

- En un canal RF diferente, para el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).
- En una ranura de tiempo diferente, para el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).
- Con diversos códigos ortogonales que se dispersan en el mismo canal RF, para el acceso múltiple por división de código (CDMA).

FIGURA 92

Arquitectura de red GSM



En redes CDMA es posible abastecer una unidad móvil desde más de una estación base simultáneamente. Las llamadas “soft handovers” (traspasos suaves) propagan el flujo de datos sobre tres estaciones base dependiendo de su situación de recepción en la ubicación del móvil.

Existen seis estándares principales para los sistemas digitales de radio celular que se han desplegado desde antes del año 2000. Estos se conocen como sistemas de segunda generación (2G):

- El estándar definido por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), conocido como GSM (sistema global para las comunicaciones móviles).
- El estándar para TDMA definido por la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones de Norteamérica y la Asociación de Industrias Electrónicas, conocido comúnmente como IS-54 (reemplazado por el nuevo estándar TIA/EIA-136)
- El estándar para TDMA RCR STD-27 del Centro Japonés de Investigación y Desarrollo de Sistemas de Radiocomunicación, conocido como sistema PDC (sistema celular digital personal).
- El estándar para CDMA de la Asociación de Industrias de Telecomunicaciones de Norteamérica y la Asociación de Industrias Electrónicas, comúnmente conocido como IS-95, sustituido por TIA/EIA-95.
- El estándar ARIB T-53 de la Asociación Japonesa para la Industria, Radio y Negocios (ARIB).

- El estándar CDMA TTA.KO-06.0003 de la Asociación de Tecnología de las Telecomunicaciones de Corea.

El GSM europeo sustituye todos los sistemas celulares análogos incompatibles utilizados anteriormente en toda Europa, con una sola red digital que permite el *roaming* a través de las fronteras internacionales. El GSM también se ha desplegado en Europa en la banda de 1800 MHz y en las Américas en las bandas 1900 MHz y 850 MHz.

Las Normas Interinas de América del Norte IS-54 e IS-95 (ahora reemplazadas por TIA/EIA-136-A y TIA/EIA-95-C), requieren que las redes celulares digitales operen en las mismas frecuencias de banda que las celulares análogas. Los proveedores de servicios han ido sustituyendo equipos análogos existentes por servicios digitales, para satisfacer la demanda en los sitios de células individuales. La norma para PDC es similar a la SE-54, a pesar de que ha sido implementada en una banda dedicada de 1500 MHz, además de una banda digital de 800 MHz.

Desde el año 2000, se han realizado varias extensiones de 2G y desarrollos de 3G que han introducido nuevos estándares para IMT, tales como:

- Servicio general de paquetes vía radio (GPRS) y tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM.
- EDGE: estos sistemas 2.5 G son extensiones de mediana a alta tasa de la norma GSM.
- UMTS (sistema universal de telecomunicaciones móviles): es un estándar europeo de 3G, basado en varias formas de onda CDMA (modo FDD), combinado con formas de onda TDMA/CDMA, (modo TDD), que se encuentra estandarizado por las organizaciones de ETSI y 3GPP. Las UMTS terrestres operan principalmente a 2000-2100 MHz, con varias extensiones en los rangos de frecuencia de 900 MHz y 450 MHz. Las UMTS soportan numerosos servicios de telefonía móvil (voz sobre IP, video móvil, etc.) Las extensiones recientes para modos de datos de alta velocidad, tales como tecnología HSDPA (High Speed Packet- Downlink Packet Access) y HSDUP (High Speed Uplink Packet Access), así como evoluciones actuales hacia terrestres de 4G como LTE (Long Term Evolution), aumentan las tasas de los datos disponibles y la flexibilidad del sistema.
- CDMA-2000: es un estándar norteamericano de 3G basado en varias formas de onda CDMA (sobre todo el modo FDD), que incluye los estándares de segunda generación IS 95A y B CDMA, estandarizado por las organizaciones TIA/EIA y 3GPP2. CDMA 2000 incluye múltiples configuraciones de radio que cubren la mayor parte de los servicios de radio móviles, incluyendo los modos de paquetes a alta velocidad. La convergencia de los estándares 3GPP2 con los estándares 3GPP2 está siendo discutida hoy en día.

Título V — Monitoreo del espectro radioeléctrico

La Tabla 20 proporciona información que afecta la interfaz aérea y el espectro de sistemas digitales de radio celular.

TABLA 20
Características de interfaz aérea de los sistemas de radio celular digital

Estándar	GSM 850	GSM 900	GSM 1800 (DCS- 1800) GSM 1900 (PCS- 1900)	TIA/EIA-136 (era IS-54)	PDC	TIA/EIA-95 (IS-95)	UMTS CDMA2000	LTE
Método de acceso	TDMA/FDMA (FHSS)			TDMA/FDMA	TDMA/FDMA	CDMA/FDMA (DSSS)	CDMA/FDMA (DSSS)	OFDMA/SC-FDMA
Banda de frecuencia (MHz)	869.2 - 893.8 824.2 - 848.8	935- 960 std 925- 960 extd 890- 915 std 1 710- 1 785 PCS: 1 850- 985 extd 1 910	DCS: 1 805- 1 880 PCS: 1 930- 1 990 extd 1 990 DCS: 1 710- 1 785 PCS: 1 850- 1 910	869-894 1 930-1 990 824-849 1 850-1 910	810-888 1 477-1 501 893-958 1 429-1 453	869-894 1 930-1 990 824-849 1 850-1 910	(Ver Tabla 23)	(Depende de la región)
Tipo dúplex Espaciamiento dúplex (MHz)	FDD 45	FDD DCS: 95 PCS: 80	FDD 45 o 80	FDD 45 o 80	FDD 83 o 48	FDD/TDD (Ver Tabla 23)	FDD/TDD	
Modulación	0.3 GMSK			$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK (enlace directo) OQPSK/HPSK (enlace inverso)	QPSK/16QAM	QPSK-64QAM
Número de portadoras	124 124 174 (ext)	124 174 (ext)	DCS: 374 PCS: 299	832 para la banda más baja 1841 para la banda más alta	1600	20	(Ver Tabla 23)	(Depende de la región)
Espaciamiento entre portadoras (kHz)	200			30	25	1250	5000	Hasta 20.000
Canales por portadora	8 (tasa completa) 16 (tasa media)			3 (tasa completa) 6 (tasa media)	3 (tasa completa) 6 (tasa media)	64	64	Variable

Estándar	GSM 850	GSM 900	GSM 1800 (DCS- 1800) GSM 1900 (PCS- 1900)	TIA/EIA-136 (era IS-54)	PDC	TIA/EIA-95 (IS-95)	UMTS CDMA2000	LTE
Potencia máxima de salida del móvil (W) en función de la clase de potencia establecida por el fabricante	(Valor más utilizado subrayado) 0.8; <u>2</u> ; 5; 8 En el modo EDGE: 0.2; 0.5; 2	(Valor más utilizado subrayado) 0.8; <u>2</u> ; 5; 8 En el modo EDGE: 0.2; 0.5; 2	(Valor más utilizado subrayado) DCS: 0,25, <u>1</u> ; 4 PCS: 0,25, <u>1</u> ; 2 EDGE modo, tanto para DCS y PCS: 0,16; 0,4; 1	0.6, 1.6, 4	0.3, 0.8, 2, 3	1.0, 2.5, 6.3	0.125; 0.2 ; 0.25; 0.5; 2	
Potencia de transmisión de la base (W)	2.5 - <640		Hasta 100	No especificado	No especificado	No especificado	No especificado	
Velocidad de datos máxima (kbit/s)	14.4 GPRS: 171.2 EDGE: 384		48.6	9.6 en el CSD 28.8 en el modo de paquetes	14.4 (IS-95A) 115.2 (IS-95B)	UMTS: 2000 HSDPA: 14.000 en el enlace descendente HSUPA: 5800 en el enlace ascendente	> 10.000	
Duración de la trama (ms)	4.615		40	40	20	10	10	
Estructura de la trama	Ranura de 0.577 ms 8 ranuras/trama		Ranura de 6.66 ms 6 ranuras/trama	Ranura de 6.66 6 ranuras/trama	1.25 ms PCG 16PG/trama			

3.3.10.3.3 Descripción de los sistemas de comunicación personal (PCS)

Además de los sistemas de radio celular descritos anteriormente, los sistemas de comunicación personal (PCS) son sistemas de baja movilidad.

Los principales estándares son:

- El ETSI definió el estándar para telecomunicaciones inalámbricas europeas mejoradas digitalmente (DECT).
- El Centro Japonés de Investigación y Desarrollo de Sistemas de Radiocomunicación (RCR) desarrolló el estándar RCR STD-28, conocido como PHS (sistema personal de teléfonos de mano).

Estos sistemas suelen ser utilizados para establecer una conexión de radio entre los equipos portátiles del usuario (audífonos, teléfonos, etc.) y una estación base que se conecta a la PSTN vía cable. Por lo tanto, a pesar de tener la capacidad de ser móviles, por lo general proporcionan un acceso de radio, a un nivel relativamente local. Los PCS pueden ser de punto a punto o de punto a multipunto en configuraciones tanto terrestres como vía satélite.

Al igual que con los sistemas de radio celulares, la mayoría de los PCS hoy en día usan técnicas de modulación digital. La Tabla 21 proporciona información sobre algunos parámetros que afectan la interfaz de aire.

TABLA 21

Características de la interfaz de aire de sistemas de comunicación personal

Estándar	DECT	PHS
Métodos de acceso	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
Banda de frecuencia (MHz)		
-Base a móvil	1880-1990	1895-1907
-Móvil a la base	1880-1990	1895-1907
Tipo dúplex	TDD	TDD
Espaciamiento dúplex (MHz)	0	0
Modulación	GFSK	$\pi/4$ DQPSK
Número de portadoras	10	77
Espaciamientos entre portadoras (kHz)	1728	300
Canales por portadora	12	4
Potencia de transmisión del móvil (mW)	250	10
Potencia de transmisión de la base (mW)	250	10 privada 500 pública
Velocidad de datos (kbit/s)	1152	384
Duración de la trama (ms)	10	5
Estructura de la trama	417 vs ranura 24 ranuras/trama	0.625 ms 8 ranuras/trama

Los servicios más comunes relacionados con el término PCS son los "microcelulares" y los servicios de voz y datos punto a multipunto. Estos proporcionan al usuario la capacidad de moverse en el hogar, la oficina o la calle con una gama completa de servicios de voz y datos a su disposición. Las células pequeñas son necesarias para proporcionar una mejor cobertura y capacidad.

Las nuevas tecnologías que se están desarrollando se conocen como servicio local de distribución multipunto (LMDS) y servicio de distribución multimedia (MMDS), sistemas que funcionan con una configuración celular y proporcionan servicios tanto de datos como de interacción en video.

La tecnología DECT ha añadido mejoras significativas a la antigua tecnología CT2 y se ha desarrollado para incluir a los peatones en la calle, como lo hace CT2, con una arquitectura que también podría manejar inalámbricos en la construcción de redes como PABX y LAN. La tecnología DECT también ofrece *roaming* automático y funciones no manuales, para llamadas de doble vía.

El PHS es un sistema digital de teléfono inalámbrico con un concepto que es similar al de la tecnología DECT. Una estación personal puede ser utilizada ya sea con la base de un teléfono inalámbrico privado o con una estación pública celular.

Todas las estaciones DECT y PHS realizan un monitoreo continuo de los canales de errores. Si el número de franjas de tiempo con errores dentro de un determinado periodo de tiempo excede el umbral, se realizan las funciones para evitar la interferencia. Esto incluye el cambio a otra trama en la misma portadora, el cambio a otra portadora, el cambio a otra estación celular, la suspensión temporal de la transmisión y la liberación del canal de radio.

3.3.10.3.4 Sistemas de los servicios móviles vía satélite (MSS)

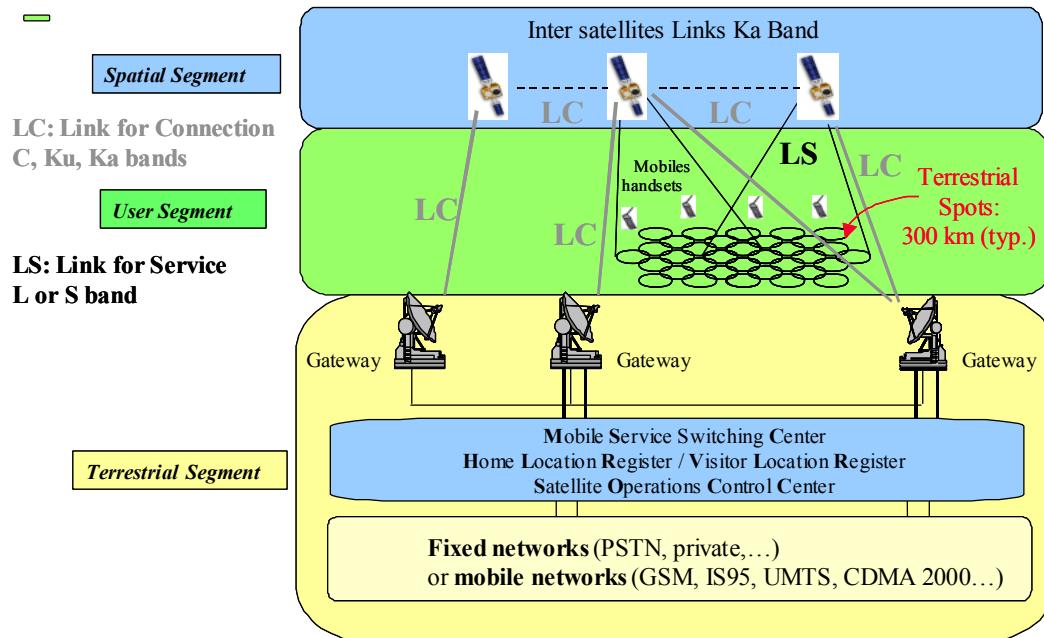
Los sistemas MSS utilizan satélites, ya sea en órbitas geoestacionarias (GSO) o no GSO, con una variedad de diferentes características orbitales. Las unidades móviles se comunican directamente con el satélite que pasa por la región y el cual retransmite la comunicación a otro satélite o estación terrena para continuar su ruta. Las estaciones de control rastrean los satélites a través de sus órbitas y actúan como enlaces de conexión para el tráfico a la PSTN. La Figura 93 ilustra los principales componentes de los sistemas MSS.

3.3.10.3.5 Acceso de banda ancha inalámbrico (BWA)

El acceso de banda ancha inalámbrico (BWA) está diseñado para ofrecer una alta velocidad de acceso a los servicios de datos como internet, utilizando la tecnología de radio, en los lugares donde las líneas de telecomunicaciones de banda ancha no están disponibles

FIGURA 93

Principales componentes de los sistemas MSS



o no son comercialmente viables. Aparte de los sistemas de telefonía celular que se describen en la sección 3.3.10.3.2, el BWA normalmente asume el equipo del usuario como quiescenario y, por lo tanto, no siempre se aplican los procedimientos de entrega. Sin embargo, ya que la modulación BWA, el acceso múltiple y los principios de la estructuración de la célula son similares a otros sistemas de radio celular y requieren del mismo equipo de monitoreo y procedimientos, están incluidos en esta sección.

Las tecnologías BWA más utilizadas en los sistemas celulares son:

- Derivados de UMTS/CDMA2000.
- WiMAX (IEEE 802.16).
- LTE

Debido a que el principal objetivo de los sistemas BWA es el de transmitir una alta tasa de datos desde y hacia el cliente, los sistemas modernos son altamente optimizados para permitir un rendimiento óptimo incluso si cambian las condiciones de propagación. Por otra parte, sobre todo en el enlace descendente, es necesario compartir el ancho de banda disponible entre varios usuarios de una manera muy eficiente. Esto incluye la adaptación continua de la modulación, el ancho de banda y tiempos de transmisión de cada usuario.

Los métodos sofisticados de acceso, como el de multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDMA), utilizados en WiMAX y LTE, permiten que la estación base organice el tráfico en los llamados bloques de recursos, que consisten en un pequeño número de subportadoras OFDM y un tiempo de transmisión corto. Por lo tanto, cada ráfaga descendiente puede ser construida como un rompecabezas para adaptarse mejor a todos los bloques de recursos con ancho de banda variable y a los tiempos de transmisión para cada usuario individual. El resultado es una señal de RF tipo ráfaga muy dinámica, la cual siempre cambia de nivel, de ancho de banda y de forma espectral, lo cual es un reto en términos de medición, para propósitos de monitoreo.

La Tabla 22 proporciona información sobre algunos parámetros que afectan la interfaz aérea. Como el número de bandas de frecuencia utilizadas por estos sistemas varía en todo el mundo, no se incluye una visión general completa de frecuencia.

TABLA 22
*Características de la interfaz de aire de los sistemas
 con tecnología WiMAX y LTE*

Tecnología existente	WiMax	LTE
Métodos de acceso	OFDMA	OFDMA/SC-FDMA
Bandas de frecuencia (MHz)	Varios, por ejemplo, 2300-2400 2500-2690 2545-2575 2595-2625 3410-3594	Varios, por ejemplo, 791-862 2500-2690
Tipo dúplex	FDD (TDD)	FDD (TDD)
Modulación	OFDM	OFDM
Número de portadoras	Variable	Variable
Espaciamiento entre canales (MHz)	1/415-2089	5, 10, 20
Potencia de transmisión del móvil (mW)	250	250
Duración de la trama (ms)	10	10

TABLA 23
Características de la interfaz de aire de los sistemas UMTS

Estándar	UMTS									
	Banda I	Banda II	Banda III	Banda IV	Banda V	Banda VI	Banda VII	Banda VIII	Banda IX	Banda X
CDMA/FDMA										
Método de acceso										
Banda de frecuencia (MHz)										
-Base a móvil	2110 – 2170	1930 – 1990	1805 – 1880	2110 – 2175	869 – 894	875 – 885	2620 – 2690	925 – 960	1844.9 – 1879.9	2110 – 2170
-Móvil a base	1920 – 1980	1850 – 1910	1710 – 1785	1710 – 1775	824 – 849	830 – 840	2500 – 2570	880 – 915	1749.9 – 1784.9	1710 – 1770
Tipo duplex Espaciamiento duplex (MHz)	FDD 190	FDD 80	FDD 95	FDD 400	FDD 45	FDD 45	FDD 120	FDD 45	FDD 95	FDD 400
Modulación	QPSK (HSPA; QPSK/QAM 16)									
Número de canales	12	12	15	12	5	2	14	7	7	12
Ancho de banda del canal (MHz)										5

3.3.10.3.6 Consideraciones sobre medición

La planificación, creación y operación exitosa de los sistemas de radio celular es una tarea compleja que requiere de equipos sofisticados, la ayuda de herramientas de planificación y sistemas de medición para diversos parámetros. La mayor parte de las tareas asociadas, incluyendo las mediciones, son responsabilidad de los operadores de red. En general, los servicios de monitoreo solo son necesarios para evaluar la cobertura e investigar interferencias externas. Los sistemas avanzados, capaces de medir y analizar todos los posibles parámetros que pueden ser de importancia para el uso de la red, solo se requieren para el manejo de los servicios en casos muy raros, por lo tanto no se detallan en esta sección. Lo mismo se aplica para los métodos de control que solo pueden ser aplicados con la colaboración del operador de red.

3.3.10.3.6.1 *La medición de los parámetros de RF*

En general, la medición de los parámetros de RF de las estaciones del sistema celular es similar a la de otros servicios. Sin embargo, algunas consideraciones especiales y dificultades que surgen en la medición de las estaciones móviles del sistema se describen en este apartado.

Nivel de RF e intensidad de campo

Dado que la mayoría de los sistemas celulares digitales transmiten en ráfagas, el nivel de RF relevante y la intensidad de campo de interés es el nivel promedio de ráfaga (ráfaga-AV), que es el nivel RMS durante una ráfaga. Los analizadores de barrido, en general, solo pueden medir este nivel en el dominio del tiempo. Sin embargo, el ancho de banda de medición necesario no requiere de la interferencia de frecuencias vecinas. Esto suele ser difícil de lograr en bandas celulares, ya que en muchas áreas todos los canales estarán ocupados.

Es necesario seleccionar cuidadosamente la ubicación para la medición y utilizar antenas directivas. En los sistemas celulares que utilizan FDMA y TDMA, como GSM, puede ser beneficioso el hecho de que las ráfagas en las frecuencias vecinas no siempre ocurren en la misma franja de tiempo, como en el canal deseado. Esto hace posible la realización de una medida correcta de la potencia del dominio de tiempo, incluso en el caso de que haya superposición de canales y frecuencias vecinas ocupadas parcialmente.

En los sistemas CDMA, la energía recibida útil es recuperada por el receptor deseado después del despliegue. Esto mejora considerablemente la S/N por el aumento de la llamada ganancia de propagación. Sin embargo, el equipo de monitoreo estándar no puede hacer uso de esta ganancia, ya que solo ve el espectro de RF ampliado a un nivel muy bajo, por lo que a menudo es difícil de detectar. Esto aplica especialmente para los enlaces superiores CDMA. Junto con el control de la potencia necesaria, la señal deseada de los móviles, incluso desde

la ubicación de la estación base, se encuentran generalmente muy cerca del piso de ruido, imposibilitando las mediciones del nivel.

Cuando el máximo nivel posible de una estación de CDMA es necesario, tiene que ser medido en el dominio del código, utilizando un receptor de medida que sea capaz de descomponer la señal. Las señales resultantes son separadas por su código de canal y se pueden medir de forma individual. Al menos uno de los canales lógicos que se transmiten siempre con la potencia constante más alta es un canal organizacional (por ejemplo, el canal piloto común, CPICH), que es independiente de la carga de tráfico de la estación.

En los sistemas UMTS, el máximo nivel posible total de la estación es un valor fijo mayor al del nivel del CPICH. A pesar de que es comúnmente admitido que este valor es de 10 dB, algunos operadores de red utilizan distintos valores para las diferentes estaciones base. Estos valores pueden ser de más de 10 dB y, por lo tanto, si el 10 dB se aplica, podría conducir a una subestimación de la potencia máxima posible de la estación.

En sistemas que utilizan OFDMA, incluso el nivel de ráfaga AV de la estación base es difícil de medir debido a sus cambios, inclusive durante una ráfaga. Por lo general, el servicio de monitoreo está interesado en determinar el nivel máximo posible de la emisión, por ejemplo, al comparar los resultados con la potencia máxima autorizada. En estos casos, la primera parte de cada una de las ráfagas debe medirse donde la información de preámbulo y la información de sincronización se transmiten siempre con el máximo nivel de potencia, independientemente de la carga de tráfico en la estación base.

Modulación

La medición de los parámetros de modulación, como la tasa de error de modulación (MER) en los sistemas celulares, es básicamente la misma que para otros sistemas digitales, y se describe en la sección 3.3.4. Sin embargo, los sistemas celulares que utilizan técnicas CDMA o LTE, a menudo son diseñados con áreas de servicio superpuestas de las estaciones base. Ya que todos están transmitiendo en una frecuencia, a menudo es difícil encontrar un punto de medición y de configuración capaz de separar la emisión de la estación bajo prueba, de las de otras estaciones. Si no es posible encontrar un punto adecuado de medición, aunque se utilicen buenas antenas directivas receptoras, una medición de prueba realizada en la salida del transmisor, puede ser la única manera práctica.

3.3.10.3.6.2 *Medición de la calidad del servicio*

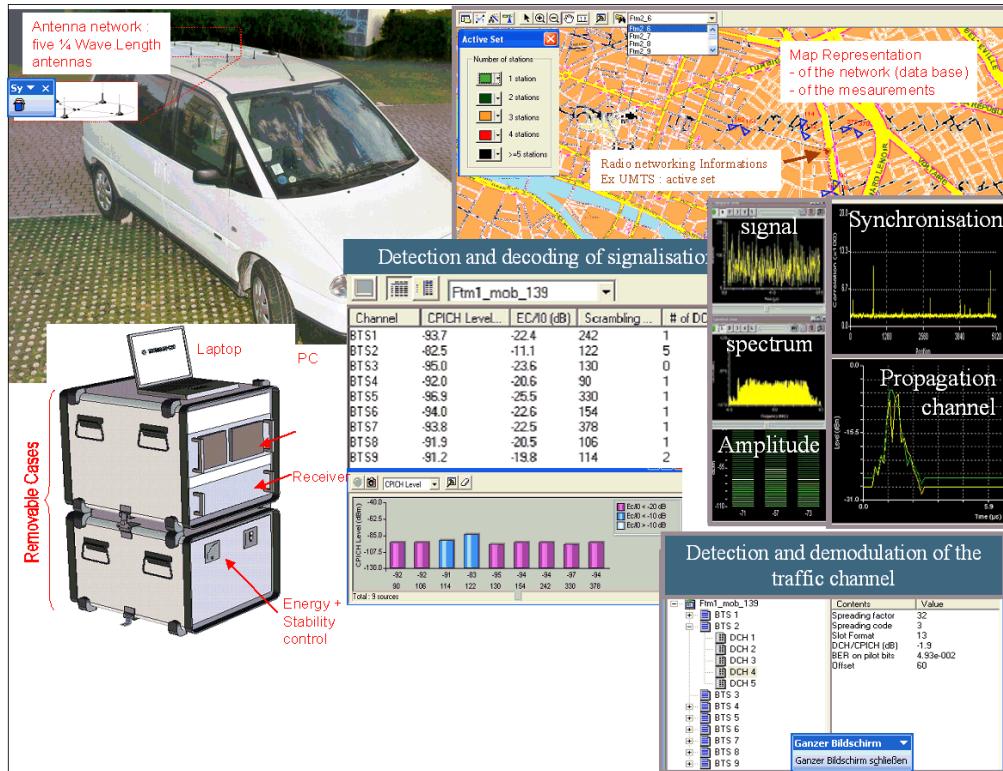
Especialmente en los sistemas de radio celular con una densa red de estaciones base, la interferencia intra o extra-red puede resultar en la degradación de ciertos parámetros relacionados con la calidad del servicio de llamadas (QoS). Estos parámetros solo se pueden medir con equipos de monitoreo especializado diseñados especialmente para los sistemas celulares pertinentes.

La siguiente lista de parámetros que afectan la utilidad real de una red celular en un lugar determinado no es exhaustiva:

- Relación señal a ruido (S/N) y relación señal a ruido + interferencia (SINR).
- Tasa de errores de bit/tasa de errores de paquetes/tasa de errores de símbolo.
- Tiempo de demora de las señales reflejadas debido a las condiciones de trayectoria múltiple/respuesta al impulso del canal.
- Condiciones de entrega.

Como los valores de los parámetros QoS dependen de la ubicación específica, estos sistemas de monitoreo son los que mejor se ajustan para ubicarlos en los vehículos de medición. La Figura 94 muestra un ejemplo de este sistema, junto con algunas posibles representaciones de la evaluación de la medición.

FIGURA 94
Ejemplo de un sistema de medición para redes de radio celular



Estos sistemas de medición especializados se pueden utilizar para detectar problemas en caso de interferencia, especialmente debido a la propagación en condiciones pobres, interferencia de otros transmisores al interior de la misma red (interferencia intrared), mediante la comparación de los parámetros medidos QoS con los requisitos mínimos del sistema. Dicho equipo utiliza métodos de procesamiento de señal que se pueden llevar a cabo mediante el uso de múltiples receptores y probadores RF sincronizados, asociados a la red de antenas y filtros espaciales adaptativos de cooperación. Estas técnicas mejoran la precisión en las mediciones de radio y la fiabilidad, el desempeño en la demodulación y decodificación mediante el uso de técnicas de cooperación basadas en la recuperación de señales conocidas.

Información adicional sobre filtrado adaptativo y el enfoque de procesamiento de cooperación se incluyen en las recomendaciones UIT-R SM.1598 [49] y SM 1600 [50].

3.3.10.3.6.3 Mecanismos de interferencia

Un análisis de la interferencia de varias situaciones de interferencia en redes digitales de radio celular se describe a continuación. Como cualquier interferencia reportada, las interferencias en las redes digitales celulares deben ser manejadas de acuerdo con las directrices contenidas en el Capítulo 6 del presente título.

Interferencia co-canal: es la interferencia generada por múltiples transmisores que operan en la misma frecuencia en células cercanas. Este puede ser el caso de un repetidor GSM que opera sin la autorización del operador de red.

Interferencia de canal adyacente: es la interferencia causada por el desbordamiento de la energía contenida en la RF de los canales contiguos o cercanos o de varios canales próximos.

Aparte de las técnicas de medición estándar que se utilizan para el manejo de las interferencias, las siguientes subsecciones proporcionan algunos ejemplos de situaciones de interferencia comunes y las posibles técnicas de medición específicas para las redes celulares.

PCS: demasiadas estaciones en un área

Las limitaciones en la selectividad del receptor y la carencia de tiempo de sincronización entre las estaciones de las distintas redes que operan en la misma frecuencia, hace imposible la utilización sin interferencias de todos los canales teóricamente disponibles en un lugar determinado. Por ejemplo, en Europa se asignan diez canales de frecuencia a los servicios DECT, diseñados para utilizar 12 pares de franjas horarias por frecuencia. Por lo tanto, en teoría, 120 estaciones DECT deben ser capaces de coexistir en un lugar determinado. En la práctica, sin embargo, se produce una grave perturbación cuando más de diez estaciones son operadas simultáneamente.

A menudo, esto resulta sorprendente para el usuario y hasta para los técnicos, aunque la situación se presente con frecuencia en zonas con un gran número de oficinas, donde las grandes empresas usan muchos teléfonos DECT. Una buena manera de identificar esta situación con un analizador de espectro estándar es mostrando una frecuencia RF solo en el modo de lapso cero, provocando que la señal sea más fuerte. Las ráfagas de otras estaciones en la misma frecuencia cambiarán lentamente su posición, en el tiempo, hasta coincidir con la estación activa.

La Figura 95 muestra un ejemplo de visualización de la situación. La parte superior de la ventana muestra un resumen de la banda DECT en el dominio de frecuencia. Todos los canales están ocupados. La parte inferior es una representación del dominio de tiempo en la frecuencia del marcador sobre 1895,6 MHz, mostrando una trama DECT de 10 ms. En este canal, hay una conversación activa (1), y varias señales inactivas de otras estaciones base no sincronizadas. Las dos marcadas con (2), por ejemplo, están separadas por menos de una trama de tiempo y pronto se interferirán entre sí.

Si la ocupación real de la banda es alta, la conexión de colisión no encontrará una frecuencia alternativa y/o franjas horarias y será descartada. La única solución posible es reducir el número de estaciones PCS.

CDMA: interferencias de fuentes externas

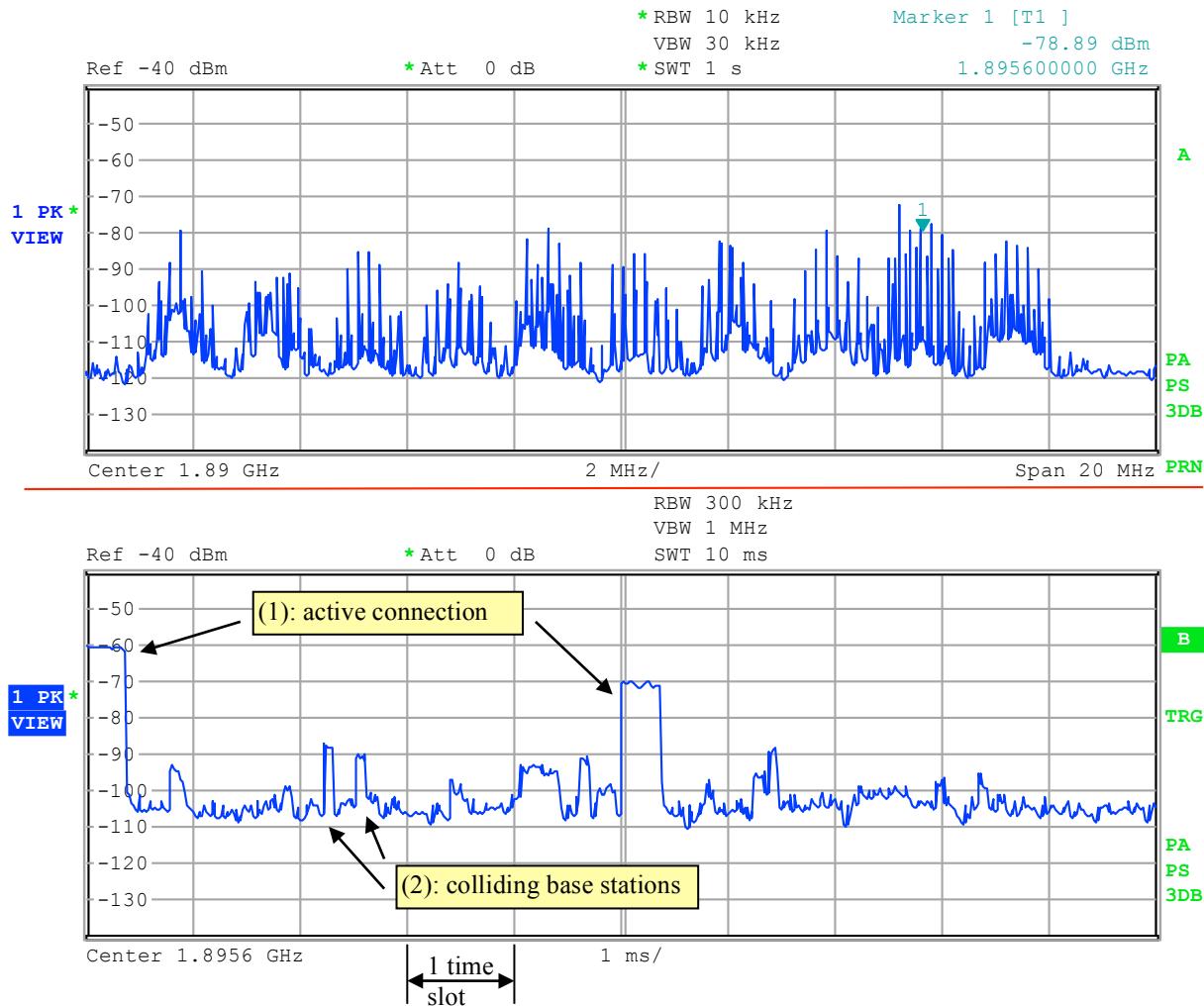
El principio de CDMA requiere que todas las estaciones que transmiten en la misma frecuencia sean recibidas con el mismo nivel por la estación base. Esto se logra mediante un control rápido de potencia de transmisión de las estaciones móviles. Si una estación base recibe una señal de interferencia de un dispositivo externo, aumentará la potencia de los móviles activos hasta que su nivel exceda el de la interferencia. Al conectar un equipo de monitoreo estándar, como un analizador de espectro, a la antena de la estación CDMA interferida, se mostrarán la interferencia externa como el nivel de una señal deseada de los móviles y la cual está muy por encima del piso de ruido.

Si se trata de una interferencia de banda ancha, esta puede ser la única indicación de su presencia. En este caso, la identificación de la fuente de interferencia solo es posible intentando encontrar un lugar donde el nivel de la señal de interferencia en una antena de medición (directiva) sea mayor que el de la señal de los móviles activos.

En muchos casos, sin embargo, la señal de interferencia tendrá un ancho de banda mucho más estrecho que la señal CDMA. En este caso, si en realidad está provocando interferencias en el servicio, la señal se verá claramente por encima de las señales de teléfonos móviles activos, debido a la ganancia del sistema (ver las descripciones en la sección 3.3.10.3.6.1). La localización de la fuente de interferencia con los métodos estándar es relativamente fácil.

FIGURA 95

Múltiples conexiones DECT no sincronizadas en la misma frecuencia



No hay servicio dentro del área de cobertura

Al igual que en todas las redes de radio, el bloqueo y la reflexión, sobre todo de los obstáculos circundantes, tales como edificios o montañas, pueden causar interrupciones en el servicio aunque el usuario esté dentro del área de cobertura prevista. Estos casos suelen presentarse como una interferencia, pero cuando el servicio de monitoreo examina la situación en el lugar, la intensidad de campo útil puede ser suficiente y puede que no se detecte ninguna interferencia externa.

La razón más probable del problema puede ser una recepción extrema de trayectoria múltiple (en redes OFDM, una reflexión fuera del intervalo de guarda o falta de sincronización entre los dos transmisores dentro de una SFN). Esta situación puede ser verificada

mediante la medición de la respuesta al impulso del canal. Sin embargo, esto requiere de equipos de medición especializados.

Interferencia co-canal a causa de una estación desconocida del mismo servicio

Incluso, si un operador utiliza una frecuencia de manera exclusiva, puede haber casos en los que se interfiere el servicio por el uso de una estación no autorizada que utilice la misma tecnología. El nivel de la señal de interferencia puede ser inferior al nivel de la señal útil, en cuyo caso los equipos de medición estándar, tales como analizadores de espectro y receptores, no son capaces de separar o identificar la interferencia.

En estos casos, el equipo especializado que está disponible es capaz de identificar la señal interferente mediante el uso de técnicas de correlación y métodos de análisis estadístico.

Uso de equipos especializados para el análisis de la interferencia

Aunque en la mayoría de los casos, las interferencias pueden ser resueltas por los equipos de monitoreo corrientes, los sistemas especializados de medición, como se muestra en la Figura 93, pueden ser utilizados para detectar problemas e identificar el origen más rápidamente o con mayor facilidad.

Dichos equipos tienen la capacidad para medir las señales bajo condiciones significativas de degradación SNR y SINR, en comparación con el desempeño regular de los terminales de recepción. Este rendimiento mejorado permite el rechazo de la interferencia, la medición de los parámetros de radio y la decodificación de las señales en los canales comunes, incluso en condiciones severas de interferencia.

3.3.10.3.6.4 Mediciones de cobertura

Debido a que no existe una definición única para el término “cobertura”, por cuanto depende de la interpretación que le den el proveedor de servicios y/o la autoridad de regulación, en cuanto a cuáles son las condiciones necesarias para que un lugar sea declarado como cubierto o no cubierto por un servicio de radio en particular. Las herramientas informáticas de planificación a menudo calculan las áreas de cobertura para una mínima intensidad del campo donde se espera que el equipo comercial pueda funcionar correctamente. En consecuencia, al aumentar el área de cobertura, solo se debe medir la intensidad de campo (por ejemplo, de un canal de la red). Lo anterior se describe en detalle a través del ejemplo de las redes UMTS, en el informe del ECC 103 [48].

Sin embargo, en ocasiones, un lugar se considera cubierto, por definición, cuando se cumplen ciertos requisitos mínimos para el uso del servicio. En las redes celulares, los siguientes son estados comunes de utilización que facilitan el uso de la red, y los cuales se enumeran en orden ascendente de acuerdo con la intensidad de señal y calidad requeridas:

- El móvil está desconectado de la red.
- Una conexión activa con el móvil se pierde, aunque el móvil permanece conectado a la red.
- El móvil es capaz de conectarse a la red.
- El móvil es capaz de establecer una nueva conexión.
- Se alcanza cierta velocidad de datos.

Cada uno de estos estados requiere ciertos valores para la intensidad de campo de la estación base y algunos parámetros de calidad de servicio.

Para medir con exactitud la cobertura de un sistema celular, e independientemente del tipo de equipo específico del usuario, se requiere de sistemas especiales de monitoreo capaces de medir de forma continua los parámetros relevantes del sistema a lo largo de una ruta. Sistemas tales como los que se describen en la sección 3.3.10.3.6.2 suelen ser útiles para esta tarea.

Un enfoque mucho más simple para medir la cobertura de una red celular se basa en un método estadístico. Mediante el uso de una unidad móvil estándar disponible en el mercado, para un servicio particular, se pueden visitar un gran número de lugares seleccionados aleatoriamente. En cada lugar se realiza una prueba para determinar si la unidad puede conectarse a la red, establecer una conexión, y en ese caso realizar la medición de la tasa de datos.

Los cálculos estadísticos han demostrado que cuando se miden 400 localizaciones, el área de cobertura resultante se puede determinar con un nivel de precisión del 95%. Este enfoque tiene la ventaja de que no necesita equipos de monitoreo especializados y lo puede realizar cualquier persona que pueda operar una unidad móvil. Sin embargo, el método depende de la unidad móvil, en particular, que haya sido utilizada para las pruebas, y como tal, no siempre es objetiva. Por ejemplo, el tamaño del área de cobertura calculada de acuerdo con este método de medición dependerá de la sensibilidad de las unidades móviles utilizadas. Por lo tanto, este método solo puede ser considerado suficiente si los resultados no justifican una acción legal contra el operador de red por no ofrecer una cobertura satisfactoria.

3.3.10.3.7 Identificación

Se han desarrollado métodos de identificación positiva de las señales transmitidas que no se basan en la necesidad de decodificar el flujo de datos transmitidos. Uno de estos métodos puede identificar exclusivamente una transmisión en particular mediante la medición de la “huella dactilar electrónica” del transmisor. Cada radio transmisor emite las características únicas de transmisión de la señal (una versión electrónica de una huella digital humana) que no se puede duplicar.

Estas características se comparan con el número de identificación móvil y el número de serie electrónico de los teléfonos móviles para desarrollar un patrón único para cada

cliente legítimo. Esta capacidad de huella digital proporciona un método para identificar positivamente las distintas unidades móviles. Sin embargo, el método suele no estar disponible para los servicios de monitoreo del espectro.

La Recomendación UIT-R SM.1600-1 [50] proporciona información sobre mediciones para la identificación técnica de señales digitales.

3.3.10.3.7.1 Dirección de búsqueda y localización del emisor

El concepto de reutilización de radiofrecuencias, como se aplica para los sistemas celulares y PCS, representa un reto difícil para cualquier equipo DF. Dicho equipo debe ser capaz de operar en presencia de interferencia co-canal y debe proporcionar líneas inequívocas que identifiquen múltiples transmisores que operan en la misma frecuencia.

La dirección de búsqueda en sistemas TDMA, tales como DECT y GSM, requieren que la unidad DF esté sincronizada en tiempo con la estación base que se pretende ubicar. Adicionalmente, el tiempo mínimo para obtener un resultado DF no debe exceder el tiempo de la ráfaga.

A menudo, la dirección de búsqueda en redes CDMA solo es posible con sistemas DF de banda ancha, en combinación con software especializado de procesamiento y visualización, diseñado para el análisis de emisiones de espectro propagado. La dirección de búsqueda en transmisiones DS-SS requiere del uso de un ancho de banda de (≥ 10 MHz) y de un interferómetro correlativo de DF, debido a que los espectros de potencia de una señal DS-SS parecen ruido blanco y en la mayoría de los casos están cerca, o incluso debajo del piso de ruido del sistema. Una excepción es la ubicación de las estaciones base cuando solo una de ellas es dominante en la ubicación de la antena DF. En este caso, los equipos y procedimientos DF estándar se pueden utilizar.

La Recomendación UIT-R SM.1598 [49] proporciona información más detallada acerca de la dirección de búsqueda para señales TDMA y CDMA.

3.3.10.3.7.2 Decodificación

En los sistemas celulares digitales modernos, la información del usuario, así como el contenido de la señal que transmite la voz o los datos, son cifrados (encriptados) por una clave única que es negociada entre las estaciones base y el móvil al inicio de la conexión. Por lo tanto, es imposible interceptar y decodificar los datos del usuario o de la conversación fuera del aire. La única forma posible para interceptar y decodificar los datos del usuario consiste en colocar una estación activa entre el usuario y la red celular actual.

Desde el punto de vista del móvil del usuario, esta estación de intercepción puede verse como un repetidor o una estación base real. La dificultad práctica en la implementación exitosa de este método, es el hecho de que la estación interceptora siempre tiene que estar

muy cerca del equipo del usuario que se pretende controlar, porque su señal debe proporcionar al móvil el mayor nivel de RF disponible, con el fin de evitar *handovers* (traspasos).

Sin embargo, para la mayoría de las tareas de monitoreo comunes, es suficiente con identificar la red o estación (es) base que estén transmitiendo la señal que se está midiendo. En las redes de radio celular, cada estación base tiene un número de identificación único que es transmitido sin cifrar, más o menos continuamente, a través de los canales de radio-difusión o canales organizacionales. Para leer esta información, el sistema de monitoreo debe ser capaz de sincronizar y decodificar el flujo de datos, pero no es necesario que participe activamente en el servicio o que se conecte a la red.

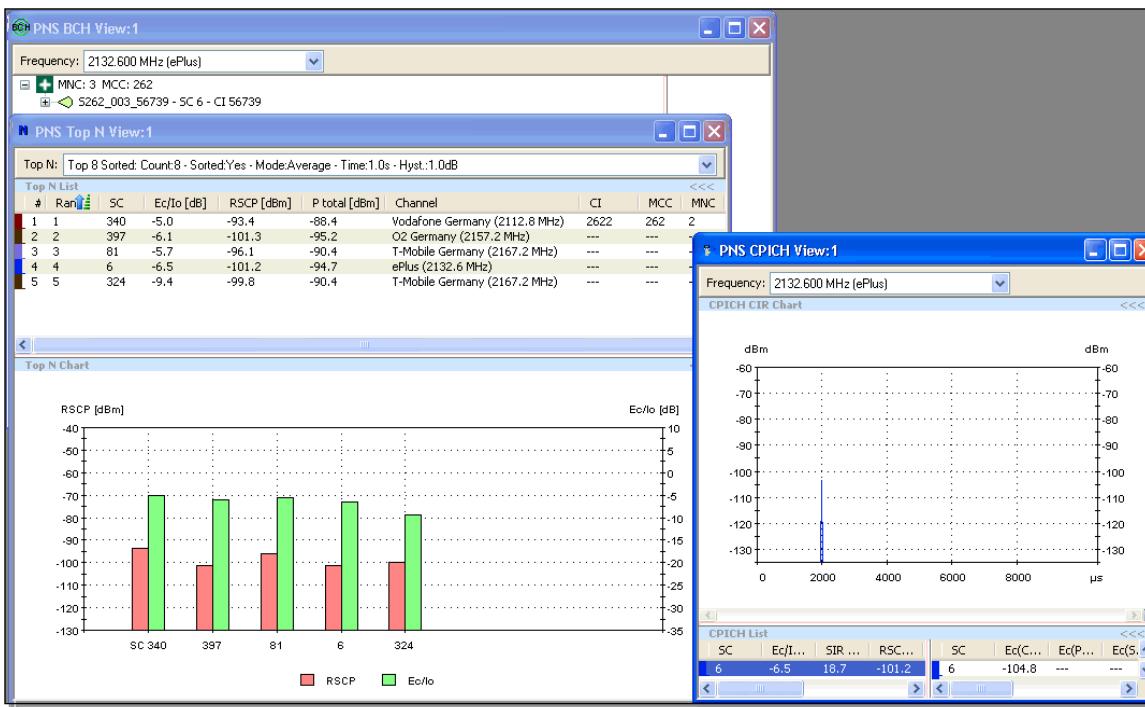
En redes FDMA/TDMA como GSM, los sistemas de monitoreo adecuados, por lo general escanean múltiples frecuencias con el fin de mostrar no solo los datos de la estación base que presta el servicio, sino también los de las células vecinas.

En los sistemas CDMA, el código que se propaga se conoce o se puede determinar por los llamados escáneres PN. Si más de una estación base es admisible, con una relación suficiente portadora a interferencia (C/I), el sistema de monitoreo normalmente puede encontrar y mostrar todos los códigos cifrados. La Figura 96 muestra un ejemplo de pantallazo de la identificación de una estación base utilizando los resultados del escaneo PN en una red UMTS. Cinco diferentes estaciones base UMTS se incluyeron en este ejemplo. Los diferentes códigos cifrados se abrevian con "SC". Para cada estación base, la potencia del código recibido (RSCP) del canal de control y la C/I equivalente (E_c/I_0) se muestra en la ventana de la izquierda. Para el canal sintonizado (2132.6 MHz), la respuesta al impulso del canal se muestra en la ventana de la derecha.

Las capacidades mencionadas anteriormente están normalmente disponibles en los sistemas de monitoreo, dedicados a los servicios específicos de radio celular, tal como se describe en la sección 3.3.10.3.6.2.

Los sistemas celulares digitales modernos y los sistemas PCS han mejorado sus funciones de seguridad minimizando o eliminando la necesidad de transmitir la información de identificación del suscriptor por el aire. En este tipo de sistemas digitales, la información del suscriptor solo está disponible en el centro de la célula en un ambiente de cooperación. En el sistema GSM, la movilidad personal es posible a través del uso de módulos de identidad del suscriptor (SIM), que llevan el número personal asignado al usuario móvil. La identificación puede ser posible mediante el monitoreo y control de la decodificación.

FIGURA 96
Identificación de las estaciones base en una red UMTS



3.3.11 Monitoreo de las emisiones de naves espaciales

3.3.11.1 TAREAS Y MEDICIONES PARA LLEVAR A CABO

Un servicio de monitoreo es responsable de la aplicación de las leyes y regulaciones nacionales y forma parte del monitoreo internacional, de conformidad con el artículo 16 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR [17]), y normalmente participa en el seguimiento a las emisiones de las estaciones espaciales como extensión normal y necesaria de las instalaciones, técnicas y operaciones de control.

En general, las tareas llevadas a cabo por una estación de radio monitoreo para los servicios espaciales, no difieren de las de una estación de radio monitoreo para servicios terrestres. Sin embargo, el radio monitoreo para los servicios espaciales requiere del uso de equipos de medición relativamente más complejos, tales como sistemas de antena más complejos y procedimientos de seguimiento y medición diferentes. Esto se debe principalmente a que las estaciones espaciales se encuentran a bordo de satélites cuyas posiciones dependen del tiempo, a excepción de aquellos que se encuentran en órbitas geoestacionarias (GSO).

estRICTAMENTE controladas. El conocimiento básico de las órbitas de estos objetos es una condición previa importante para cualquier tipo de observación y medición que se pretenda hacer sobre ellos.

Ya que el monitoreo del espacio difiere del monitoreo terrestre, en cuanto a las técnicas de medición y la terminología, la estación que proporciona las funciones espaciales es aquella que se conoce como "estación de monitoreo de los servicios radio espaciales".

Las funciones de esta estación pueden ser descritas de la siguiente manera:

- La observación periódica y sistemática del espectro de radiofrecuencia con el objetivo de detectar e identificar las emisiones de la estación espacial.
- La determinación de la ocupación y porcentaje de utilización de transpondedores o transmisores de estaciones espaciales.
- Medición y registro de las características de las emisiones de las estaciones espaciales.
- Investigación y eliminación de interferencia perjudicial causada por las emisiones de las estaciones espaciales, en cooperación con las estaciones de monitoreo terrestres y otras estaciones para los servicios espaciales si se requiere.
- Investigación y eliminación de interferencias perjudiciales a las frecuencias utilizadas por una estación espacial, debido a emisiones de las estaciones terrenas, estaciones terrestres desconocidas u otros satélites, por ejemplo, mediante la observación y la medición de un transpondedor, o señal interferente, en forma similar a como se haría para las emisiones legítimas de una estación espacial (véase la sección 3.3.11.1.1 más adelante).
- Medidas y registros para los proyectos técnicos y científicos.
- Detección de uso ilícito de transpondedores e identificación de su (s) fuente (s).
- Utilización de técnicas satelitales especiales, para localizar emisores terrenos.
- Realizar el prelanzamiento de un monitoreo, durante la fase de prelanzamiento de un satélite, para monitorear las frecuencias utilizadas con fines de telemetría, telecomando y seguimiento con respecto a la posición orbital. Este control de prelanzamiento facilitará la fase de lanzamiento y órbita temprana, incluyendo la posición.

Si se han de observar todos los tipos de naves espaciales, el sistema de antena debe ser capaz de rastrear satélites de órbita baja y de órbita altamente elíptica, así como de señalar con precisión los satélites geoestacionarios.

Las comunicaciones por satélite se dividen en los siguientes servicios de radio:

- *Servicio fijo por satélite (SFS)*

El SFS incluye todos los servicios de comunicaciones por satélite basados en infraestructura fija a través de redes privadas o públicas que prestan servicios de telefonía, fax, internet, video y datos.

- *Servicio de radiodifusión por satélite (SRS)*

Este servicio de radio se utiliza principalmente para la distribución de señales de televisión y video.

- *Servicio móvil por satélite (MSS)*

Los servicios SMS se utilizan principalmente para servicios de telefonía móvil y datos y para la navegación y manejo de flotas por satélite.

El costo total del sistema debe equilibrarse con opciones de diseño que permitan las funciones antes mencionadas: cobertura de frecuencia, sensibilidad del sistema, tasa de seguimiento de la antena, precisión de apunte, la facilidad de cambiar el hardware de alimentación de la antena, si es necesario, capacidad de recepción del ancho de banda, el grado de sofisticación de los instrumentos de análisis de señales y el grado de automatización de las mediciones.

Lo ideal es un sistema de monitoreo de naves espaciales altamente automatizado y sofisticado, totalmente orientable, con una cobertura continua de frecuencia a lo largo del espectro de, por ejemplo, 1 a 30 GHz, y lo suficientemente sensible como para proporcionar tasas portadoras a ruido de, al menos, 26 dB en todas las señales de interés. Sin embargo, en términos prácticos, para este ejemplo, el costo de las mejoras en el incremento de la sensibilidad se eleva de forma casi exponencial. Por tanto, cada administración debe analizar sus propias prioridades y necesidades internas en materia de gestión del espectro y decidir sobre las prioridades de monitoreo de los servicios espaciales.

La Tabla 24 ofrece una visión general de los factores a considerar cuando se realizan actividades de monitoreo que tengan que ver con las señales satelitales. La tabla está organizada por tipo de satélite y ruta de la señal (enlace ascendente al satélite, enlace descendente del satélite).

3.3.11.1.1 Tipos de mediciones

Para el monitoreo de satélites se deben llevar a cabo las mediciones y determinaciones siguientes:

- Frecuencia
- Frecuencia Doppler.
- Densidad de flujo de potencia (PFD) en relación con el ancho de banda y E.I.R.P. total, E.I.R.P. del canal y E.I.R.P. de la portadora.

TABLA 24

Factores a considerar en la realización de actividades de monitoreo que tengan que ver con las señales satelitales

Tipo de satélite	Emisiones de naves espaciales por satélite (enlaces descendente)	Emisiones de las estaciones satelitales terrestres (enlaces ascendentes)
Órbita satelital geoestacionaria (GSO)	Las tareas de monitoreo se realizan normalmente desde estaciones fijas de monitoreo, debido al rendimiento superior de la antena y sensibilidad del sistema. El posicionamiento de la antena requerida para los satélites geoestacionarios (GSO) es únicamente a lo largo del arco ecuatorial.	El monitoreo de las emisiones desde las estaciones satelitales terrenas a satélites GSO, incluyendo terminales de apertura muy pequeña (VSAT), utilizadas por muchas empresas, se realizan por unidades móviles que operan en el rango de frecuencia adecuada. La alta directividad de las antenas típicas de las estaciones terrenas satelitales requieren que el equipo de medición esté cerca de la antena de transmisión o en algún lugar del haz principal.
No GSO	<p>Las tareas de monitoreo se realizan normalmente desde estaciones de monitoreo, con antenas con capacidad de rastreo (aunque se podrían utilizar sistemas móviles con capacidad de rastreo).</p> <p>La antena de la estación de monitoreo debe hacer un seguimiento continuo a la posición del satélite, sobre la base de uno de los diferentes métodos de seguimiento satelital, que se cubrirá más adelante en este capítulo.</p>	El monitoreo de las emisiones desde estaciones satelitales terrenas a los satélites no GSO, se realizan en vehículos móviles. Como en el caso de GSO, la directividad de la antena requiere que el equipo de medición esté cerca de la antena de transmisión o en algún lugar del haz principal. Un factor adicional es que la antena de transmisión se mueve para seguir la órbita del satélite, lo que complica las mediciones de los parámetros relacionados con la amplitud.

- Portadora C/N_0 .
- Ancho de banda y ancho de banda de la portadora.
- Mediciones de espectro fuera de banda.
- Características de transmisión.
- Identificación del tipo de modulación.
- Registro de las observaciones del espectro.
- Espectrogramas para visualizar ranuras de desplazamientos rápidos y señales de barrido.
- Mediciones de polarización.
- Posición orbital del satélite (precisión en la posición orbital de por lo menos 0.1°).
- Características de la banda base de las señales recibidas, es decir, BPSK, QPSK, QAM, FDM/FM.
- S/N recibida.

3.3.11.1.2 Tipos de interferencia causada por sistemas satelitales

- Interferencia de canal adyacente.
- Interferencia co-canal.
- Interferencia por canal cruzado (polarización cruzada).
- Interferencia del sistema adyacente.

Este tipo de interferencias se producen a la entrada de la estación terrena receptora, por portadoras transmitidas por cualquiera de los satélites del sistema considerado (consta de una estación terrena y un satélite) o por un satélite de otro sistema.

Interferencia de canal adyacente

Este tipo de interferencia es la que producen las portadoras transmitidas desde las estaciones satelitales a las estaciones terrenas en el mismo sistema, ubicadas en el mismo haz puntual que la estación terrena bajo consideración, conocida como la estación terrena víctima, transmitidas con frecuencias diferentes, pero con la misma polarización.

En esquemas de acceso FDMA y TDMA, estas portadoras interfieren con la portadora de la víctima, a causa del rendimiento no ideal del filtro de transmisión de la estación terrena.

Interferencia co-canal (copolarización)

La interferencia co-canal es producida por las portadoras transmitidas por las estaciones satelitales terrenas del mismo sistema, en la misma frecuencia y en la misma polarización que la portadora víctima.

Estas portadoras de interferencia son enviadas a las estaciones terrenas, que se encuentran en un haz puntual diferente al de la estación terrena víctima en FDMA y TDMA, pero están localizadas en el mismo haz puntual que la estación terrena víctima en CDMA.

En FDMA y TDMA esta interferencia es limitada por el rodamiento de la antena satelital del haz puntual adyacente en dirección a la estación terrena víctima, mientras que en CDMA está limitada por propiedades de correlación de códigos.

Interferencia por canal cruzado

Este tipo de interferencia es producida por las portadoras transmitidas por el satélite a las estaciones terrenas del mismo sistema, en la misma frecuencia y con polarización ortogonal a la portadora de la estación terrena víctima.

Estas portadoras interferentes son enviadas a estaciones terrenas situadas en un haz puntual diferente al de la estación terrena víctima, si se utiliza polarización sencilla, pero a estaciones terrenas ubicadas en el mismo haz puntual que la estación terrena víctima, si se utiliza doble polarización. Para los sistemas con polarización sencilla, esta interferencia está limitada por el rodamiento del satélite del haz puntual adyacente en dirección a la estación terrena víctima y por el aislamiento en polarización de la antena del satélite. En caso

de reutilización de la polarización, esta estará limitada por el aislamiento en polarización de las antenas del satélite y de la estación terrena únicamente.

Interferencia del sistema adyacente

Esta interferencia se produce por las portadoras transmitidas por el satélite a estaciones terrenas de otro sistema de comunicación satelital, transmitiendo en la misma frecuencia y polarización que la portadora de la estación terrena víctima. Esta interferencia está limitada por la separación angular de los dos satélites con respecto a la posición de la estación terrena víctima.

3.3.11.2 TÉCNICAS DE MEDICIÓN

3.3.11.2.1 General

Los principales factores que requieren diferentes técnicas para el monitoreo, observación y medición de las emisiones de las estaciones espaciales, en comparación con las emisiones desde estaciones de radio fijas o móviles en Tierra o cerca a la estación en Tierra, son los siguientes:

- La diferencia entre la frecuencia recibida y transmitida, y la naturaleza variable de la frecuencia recibida, causada por el Efecto Doppler de desplazamiento, en especial para los satélites en órbita no GSO.
- La PFD débil en el punto de recepción terrestre, debido a la distancia y generalmente a baja potencia de transmisión.
- El periodo de tiempo relativamente corto en el que una señal de un satélite en órbita cerca a la Tierra puede ser recibida en un punto de monitoreo fijo.
- Los constantes cambios de dirección que tienen que hacerse a las antenas altamente direccionales de la estación terrena utilizadas para recibir las emisiones de estaciones espaciales en órbita no GSO.

3.3.11.2.2 Mediciones de frecuencia

En el caso de las estaciones espaciales GSO se pueden utilizar los mismos métodos de medición de frecuencia que para las estaciones terrestres. Estos métodos se discuten en detalle en el subcapítulo 3.3.7.

3.3.11.2.2.1 El Efecto Doppler de desplazamiento

Cuando hay una velocidad relativa entre la estación espacial transmisora y la estación de monitoreo, se produce una diferencia de frecuencia proporcional a la velocidad relativa entre la señal transmitida y la recibida debido al Efecto Doppler de desplazamiento. Las ecuaciones (21) y (22) se derivan de la Figura 97.

$$f_R = \frac{c f_S}{c - (v \cos \beta)} \quad (21)$$

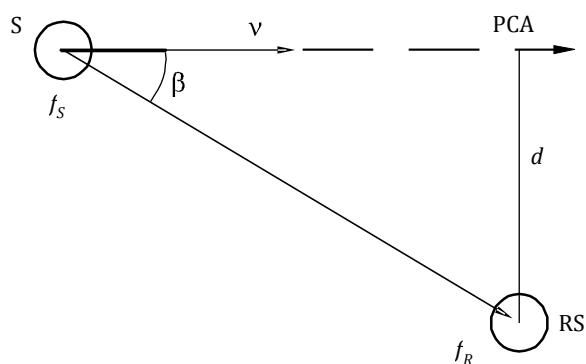
$$\left(\frac{\Delta f_R}{\Delta t} \right)_{max} = \frac{f_S}{c} \cdot \frac{v^2}{d} \quad (22)$$

Donde:

- S: satélite
- RS: estación receptora
- PCA: posición de máxima aproximación
- f_S : frecuencia de transmisión
- f_R : frecuencia recepción
- v : velocidad del satélite
- d : distancia mínima de paso por encima
- c : velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas
- β : ángulo entre la dirección de vuelo y la línea de vista (LoS), en dirección a la estación receptora

FIGURA 97

Principales relaciones en el caso del efecto de desplazamiento Doppler



Las ecuaciones conducen a las siguientes conclusiones:

- La frecuencia recibida es mayor que la frecuencia original cuando el satélite se está acercando a la estación de monitoreo.
- Una frecuencia medida es igual a la frecuencia original del satélite solo en el momento de máxima aproximación (TCA), que coincide con la posición de máximo acercamiento (PCA).
- Durante el TCA, se observa la tasa máxima de cambio de frecuencia (MRCF), que da la pendiente de la tangente de inflexión $(\Delta f_R/\Delta t)_{max}$.
- La frecuencia recibida es menor que la frecuencia original cuando el satélite se aleja de la estación de monitoreo.
- El Efecto Doppler de desplazamiento es proporcional a la frecuencia original del satélite y depende de la velocidad relativa entre la fuente y la estación de monitoreo.

3.3.11.2.2 *Método de medición*

La precisión alcanzable de una frecuencia determinada emitida por un satélite depende de los parámetros orbitales del satélite, la trayectoria de propagación, el equipo de medición y el método de evaluación. La medición de la frecuencia de un satélite en órbita no GSO es un procedimiento indirecto, que requiere en primer lugar del registro del desplazamiento Doppler, seguido de la evaluación de la curva de Doppler.

Para obtener una medición adecuada se prefieren los sistemas automáticos de medida. Veáse la sección 3.3.11.6.1 para los detalles de una posible solución técnica.

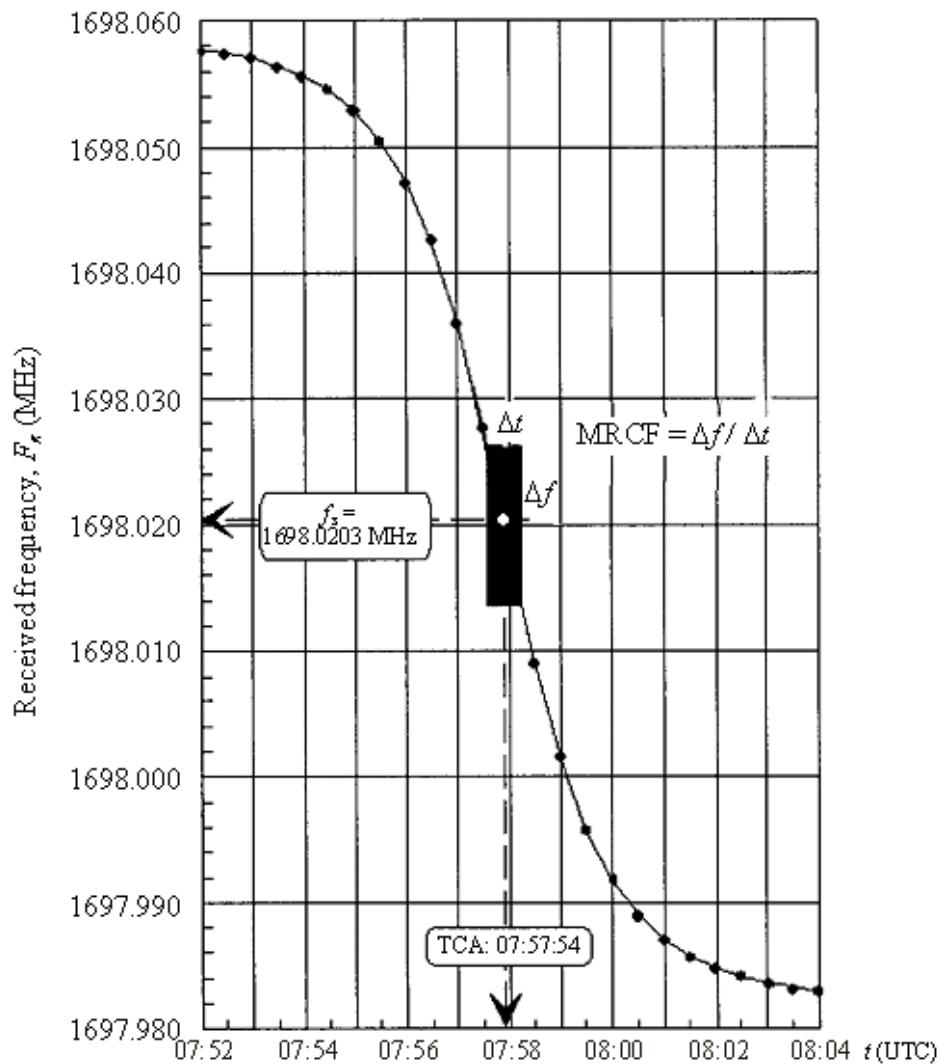
3.3.11.2.3 Procedimiento de cálculo de la frecuencia y precisión de la medición

Mediante el uso de métodos gráficos es posible determinar la frecuencia del satélite, el TCA y la MRCF (Figura 98). La precisión alcanzable en la medición de frecuencia es de $\pm 1 \times 10^{-7}$ Hz.

Un método modificado permite mejorar el grado de precisión. Mediante una diferenciación única de la curva de frecuencia Doppler con respecto al tiempo se obtiene una parábola, cuyo vértice indica el TCA y también la frecuencia original del trasmisor del satélite. Para la construcción de la parábola es suficiente con utilizar los valores individuales medidos dentro de los 30 s de la TCA. El intervalo de tiempo entre los valores medidos debe ser elegido de modo que la forma de la curva esté claramente definida, por ejemplo, en intervalos de por lo menos 5 s. Con este método y los métodos gráficos de evaluación, se puede obtener una precisión de $\pm 5 \times 10^{-9}$ Hz si se utiliza un oscilador de referencia de tipo Cesium o mejor. La Figura 98 muestra los resultados de la determinación de la frecuencia cuando se realiza de esta manera.

FIGURA 98

Cálculo de la frecuencia del satélite a partir de la curva de Doppler



En lugar de métodos de evaluación gráfica que consumen mucho tiempo, lo mejor sería una solución de software, que procese directamente los resultados de medición de una sola frecuencia de un contador de frecuencia.

Es obvio que las mediciones confiables de frecuencia solo pueden realizarse si el espectro radioeléctrico contiene un componente de frecuencia característico al cual se pueda sincronizar el receptor. Esto, por supuesto, también se aplica para la medición de frecuencias de estaciones terrestres.

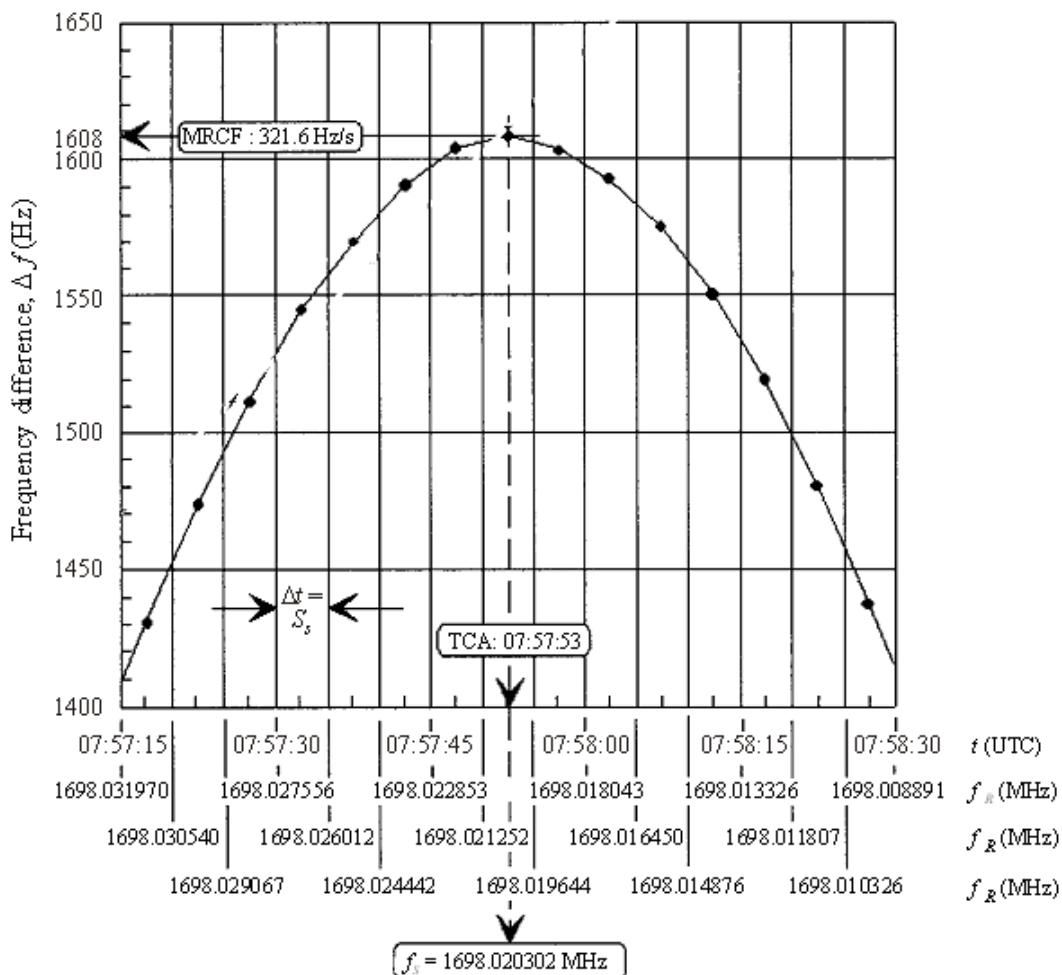
3.3.11.2.3 Mediciones de ancho de banda

Para las mediciones de ancho de banda de emisiones de satélites GSO se pueden, en principio, aplicar los mismos métodos que para las mediciones de las emisiones terrestres. Una descripción de estos métodos se puede encontrar en el subcapítulo 3.3.6.

En los casos en que existe una velocidad relativa entre la estación espacial y la estación de monitoreo, el ancho de banda de transmisión aparente, medido desde la estación de monitoreo, varía debido al efecto de desplazamiento Doppler, de la misma manera como se describió para la frecuencia portadora.

FIGURA 99

Cálculo de la frecuencia de satélite por la diferenciación de la curva de Doppler



Han de tenerse en cuenta dos factores:

- El espectro de frecuencias completo se desplaza durante el tiempo necesario para la medición de ancho de banda.
- El desplazamiento de frecuencia es ligeramente mayor para los componentes de la señal cerca del borde superior del espectro de la emisión, que para los que están cerca del borde inferior. Esta diferencia podría ascender a cientos de hertz para anchos de banda amplios. El efecto hace que el aparente ancho de banda, como se observa en la estación de monitoreo, pueda variar un poco.

El control automático de la frecuencia en el receptor de monitoreo puede compensar el desplazamiento de frecuencia Doppler de una emisión. En este caso, los métodos de medición normal usados para determinar el ancho de banda en estaciones de monitoreo terrestre, se pueden aplicar sin cambios radicales. Si la señal recibida es muy débil, es posible asegurar la corrección automática de la frecuencia del oscilador del receptor, mediante el uso de una señal de referencia como, por ejemplo, una portadora o frecuencia piloto, emitida por la estación espacial que es filtrada con un filtro pasa banda muy estrecho. Si la estación de monitoreo para servicios espaciales no posee los receptores apropiados con control automático de frecuencia, debe tenerse en cuenta el desplazamiento de frecuencia de la estación espacial durante la medición, si es necesario, haciendo una medición simultánea de la frecuencia Doppler para determinar el ancho de banda. También puede ser necesario hacer un registro simultáneo de la PFD, de modo que el efecto de las variaciones de PFD que ocurren durante el análisis del espectro pueda ser eliminado de los cálculos.

3.3.11.2.4 Mediciones de la densidad del flujo de potencia

3.3.11.2.4.1 *Mediciones en un ancho de banda de referencia*

La coordinación y operación exitosa de las estaciones espaciales requiere que los valores máximos de PFD no sean superados en la superficie de la Tierra por las emisiones de una estación espacial, incluidas las emisiones de un satélite reflector. Los valores de las bandas de frecuencias individuales, servicios espaciales, ángulos de llegada y condiciones de compartición se presentan en el RR [17] artículo 21, sección V, el cual debería estar disponible en las instalaciones de monitoreo espacial. La PFD ($\text{dB} (\text{W/m}^2)$) está relacionada con un ancho de banda en particular, en general a 4 kHz, 1 MHz o 1.5 MHz, dependiendo de la frecuencia de la emisión fundamental. La indicación del ancho de banda de referencia (RBW) es esencial, ya que la potencia radiada normalmente no se concentra en una sola frecuencia, sino que se distribuye dentro de una banda de frecuencias.

3.3.11.2.4.2 *Medición de PFD total*

En este caso, la PFD está plenamente determinada sobre la base del ancho de banda ocupado por una emisión. El ancho de banda del filtro de medida se debe seleccionar de acuerdo con lo anterior. Estas mediciones son importantes si, por ejemplo, se va a calcular la E.I.R.P. de una estación espacial. Para bandas de frecuencias por debajo de 13 GHz, y siempre y cuando las condiciones de cielo despejado prevalezcan, la pérdida total por absorción atmosférica puede ser tomada como 0.1 a 0.2 dB para los cálculos.

3.3.11.2.4.3 *Incertidumbre de medición*

El grado de incertidumbre para las mediciones de PFD es influenciada principalmente por tres factores:

- Incertidumbre de la ganancia de antena en la antena receptora.
- Incertidumbre de la señal de referencia (generador de potencia de referencia) para calibrar el receptor de medición/analizador de espectro.
- Precisión de apuntamiento de la antena/rastreo.

Con respecto a las incertidumbres de PFD, no hay ninguna diferencia entre este método y los métodos descritos en el subcapítulo 3.3.4. Mientras que la incertidumbre de la fuente de referencia puede ser controlada y minimizada en gran medida, el problema real radica en la calibración exacta de la ganancia de la antena de la antena receptora. Los sistemas reflectores parabólicos más grandes solo pueden ser calibrados después de su ensamble en el lugar de instalación. En consecuencia, el cálculo satisfactorio de la ganancia de la antena debe tener en cuenta las condiciones específicas del lugar de instalación.

La incertidumbre de medición ampliada (factor de cobertura 2) no debe exceder 2 dB. Se debe buscar una reducción en la incertidumbre de medición en todas las bandas de frecuencias.

3.3.11.2.5 *Mediciones de polarización*

El conocimiento de la polarización de la señal del satélite es esencial, porque la determinación de esta característica básica de la señal puede ayudar en la identificación de emisiones desconocidas. En consecuencia, un sistema de antena competente debe ser capaz de distinguir entre diferentes tipos de polarización.

La implementación técnica de las mediciones de polarización ha de tener en cuenta el uso generalizado de la técnica de doble polarización en las bandas de frecuencias por encima de 1 GHz, que son utilizadas por el servicio fijo por satélite y el servicio de radiodifusión por satélite.

Se deben obtener condiciones de recepción y de medida óptimas, para la señal del satélite en términos de:

- C/N máxima.
- C/I máxima, por suficiente discriminación entre señales polarizadas ortogonalmente; debe coincidir la polarización de la antena de recepción en la estación de monitoreo con la de la señal entrante. En el caso de polarización lineal dual, se requiere total maniobrabilidad del plano de polarización. Se debe contar con una discriminación de polarización de por lo menos 20 dB.

3.3.11.2.6 Determinación de posiciones orbitales y elementos orbitales

La determinación de posiciones orbitales tiene que ver con satélites geoestacionarios (GSO) y la determinación de elementos orbitales, con satélites no GSO.

3.3.11.2.6.1 Satélites GSO

Un satélite GSO está sujeto a las perturbaciones que tienden a cambiar su posición en órbita. Estas alteraciones conducen a una rotación del plano orbital y al eje semi-mayor y a errores de excentricidad de relativa importancia. Esto da como resultado que, visto por un observador en la Tierra, el satélite muestre un movimiento oscilatorio, con un periodo de 24 h. Este movimiento (llamado "figura de ocho") está formado por un componente Norte-Sur y un componente en el plano.

Las estaciones espaciales a bordo de satélites geoestacionarios que utilizan frecuencias atribuidas al FSS (servicio fijo por satélite) o BSS (servicio de radiodifusión por satélite) tienen que mantenerse dentro de $\pm 0.1^\circ$ de longitud de su posición nominal (véase RR [17] artículo 22, sección III), a excepción de las estaciones experimentales a bordo de GSO, que deben mantenerse dentro de $\pm 0.5^\circ$ de longitud, y para las estaciones de BSS que operan en la banda 11.7-12.75 GHz, que deben mantenerse dentro de los límites especificados en el RR [17] Apéndice 30. Las estaciones espaciales no necesitan cumplir con estos límites, siempre y cuando la red de satélites no cause interferencia inaceptable a cualquier otra red de satélites cuya estación espacial cumpla con estos límites. La determinación de la posición de satélites geoestacionarios es, por lo tanto, una tarea que requiere de una estación de monitoreo para servicios espaciales. La posición orbital es computada a partir de mediciones de ángulos de azimut y planos de elevación de la antena receptora.

3.3.11.2.6.2 Satélites no GSO

El cálculo de los elementos orbitales de un satélite no GSO (datos de efemérides), a partir de mediciones suficientemente precisas, es un requisito básico para:

- La identificación de una estación espacial desconocida (ver sección 3.3.11.5.1).
- La investigación del horario de recepción posible.
- La predeterminación de los ángulos de azimut y elevación en función del tiempo, por ejemplo, para la orientación de una antena controlada por computador en los casos en que los datos publicados oficialmente no están disponibles.

Una estación de monitoreo para servicios espaciales, que hace uso de mediciones de modo pasivo, puede proporcionar los siguientes datos de medición:

- Azimut
- Elevación
- Desplazamiento Doppler

Ya que la determinación de la órbita requiere resolver, por lo menos, seis elementos (por ejemplo, los elementos orbitales de Kepler), se requieren múltiples mediciones de los elementos antes mencionadas. Por lo general, las determinaciones de la órbita son el resultado de un procedimiento estadístico, en el que entre mayor sea el volumen de datos de entrada mayor es la precisión de los elementos orbitales. Cuando se monitorean las frecuencias más altas, es decir, por encima de 1 GHz, se prefieren los métodos basados en la evaluación de mediciones del ángulo de azimut y planos de elevación debido al estrecho ancho de banda de la antena receptora en estas frecuencias.

3.3.11.2.7 Geolocalización de transmisores en Tierra utilizando mediciones de diferencia de tiempo y frecuencia de dos satélites GSO

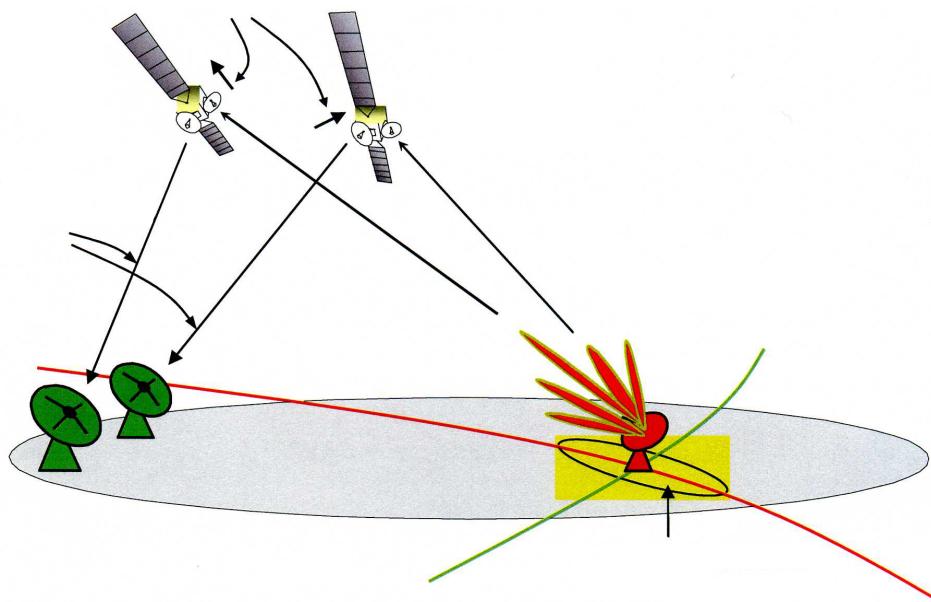
Las fuentes de interferencia ubicadas en Tierra pueden afectar la señal del enlace ascendente recibida en el satélite. El receptor de la señal deseada percibe la interferencia como una interferencia del enlace descendente. La geolocalización de los radio transmisores que afectan los satélites en órbita GSO es una tarea difícil, que generalmente se logra a través del análisis de las mediciones compuestas de diferencia de tiempo de llegada (TDOA) y diferencia de frecuencia de llegada (FDOA). Ambos tipos de medidas requieren que las transmisiones sean monitoreadas a través de un segundo satélite GSO que se encuentra dentro del haz del transmisor.

El satélite GSO, que lleva la señal desconocida, normalmente se conoce como el "satélite primario" y el segundo satélite GSO, antes mencionado, como "satélite adyacente". Una medición del TDOA da como resultado la diferencia en el tiempo en que la misma señal llega a un receptor en tierra a través del satélite primario y a otro receptor en tierra a través del satélite adyacente. Mediante una medición FDOA se obtiene la diferencia en la frecuencia medida entre las señales que llegan por separado a los dos receptores.

Por lo general, los dos receptores están localizados en el mismo lugar geográfico aunque esto no es un requisito (ver Figura 100). En el "modo distribuido", los dos receptores utilizados para la geolocalización están separados el uno del otro, pero deben estar dentro del mismo haz del enlace descendente de cada estación espacial, respectivamente. El modo de distribución debe ser utilizado cuando las huellas del enlace descendente no se intersectan; de hecho, estos enlaces descendentes pueden ser recibidos en distintos continentes. Cuando se opera en el modo de distribución, las mediciones de señal deben ser trasladadas a un lugar común para el procesamiento posterior de geolocalización.

El tiempo de llegada varía debido a que la señal transmitida viaja diferentes distancias, ya que pasa a través de dos satélites diferentes, a cada receptor. La frecuencia es diferente porque, en general, hay un movimiento relativo entre los dos satélites diferentes que causa desplazamientos en la frecuencia Doppler de las transmisiones. Aunque las posiciones de los satélites geoestacionarios se describen vagamente como fijas en posiciones específicas sobre el Ecuador de la Tierra, en realidad se mueven alrededor de estas posiciones nominales dentro de ciertos límites. Son estos movimientos los que provocan un desplazamiento Doppler medible en las señales recibidas. Las frecuencias recibidas también pueden diferir como resultado de cambios en los osciladores que establecen la frecuencia de retransmisión en el enlace descendente de cada satélite.

FIGURA 100
Geolocalización de los transmisores terrestres con TDOA y FDOA de dos satélites en órbita geoestacionaria



Mediciones individuales de TDOA o FDOA combinadas con la configuración de cada estación terrestre y el satélite, describen diferentes superficies en las que el transmisor desconocido puede ser localizado. La superficie de la Tierra (en la que confluyen casi todas las transmisiones de interés) ofrece una tercera superficie que limita la ubicación desconocida. La intersección de estas tres superficies ofrece una estimación de la señal desconocida a partir de un solo par de mediciones TDOA y FDOA. Ya que los errores de medición o de modelo pueden conducir a errores en la geolocalización, medidas adicionales de TDOA y FDOA, combinadas en una solución estadística, pueden servir para reducir este tipo de errores.

3.3.11.2.7.1 Medición de diferencias de tiempo y frecuencia

Las dos series de tiempo de la señal del transmisor en el enlace descendente de cada uno de los dos satélites geoestacionarios son registradas y analizadas para obtener diferencias de tiempo y frecuencia entre ellas (es decir, TDOA y FDOA). Esto se realiza mediante el cálculo de la función de ambigüedad cruzada (CAF) o el mapa de correlación en dos dimensiones. El valor del CAF para un tiempo determinado y la diferencia de frecuencia es la correlación cruzada de las dos señales registradas. En el caso particular de emisiones de onda continua (CW) no se puede generar una medición de TDOA, ya que las dos señales correlacionan para todas las diferencias de tiempo de retraso.

El CAF se puede visualizar en tres dimensiones, donde el valor del CAF es una función tanto de TDOA como de FDOA. Para el caso de una sola señal de interferencia en el rango de frecuencia seleccionada, el valor máximo del CAF con respecto a los TDOA y FDOA selecciona los desplazamientos en los valores de TDOA y FDOA que se presentan para el algoritmo de geolocalización, que calcula la localización de un solo transmisor. Para una emisión CW, esto se traduce en una cresta a lo largo de una línea de FDOA constante. Por otro lado, varios transmisores de banda ancha desde múltiples localizaciones producirán varios picos CAF.

3.3.11.2.7.2 Algoritmo de geolocalización

El algoritmo de geolocalización frecuentemente utiliza mediciones TDOA y/o FDOA en un proceso iterativo de mínimos cuadrados, para estimar el lugar donde se origina la señal transmitida. En su forma más simple, una estimación inicial de la ubicación del transmisor y las órbitas de los dos satélites se combina con las leyes físicas del movimiento del satélite para generar mediciones predeterminadas de TDOA y FDOA. La diferencia (el residuo) entre los valores de las mediciones reales y las predeterminadas de TDOA y FDOA se utiliza para generar ajustes a la posición del transmisor. Esta ubicación ajustada del transmisor se utiliza para generar un segundo conjunto de mediciones predeterminadas de TDOA y FDOA,

que implican nuevos ajustes a la posición del transmisor y así sucesivamente. Una solución iterativa es necesaria, porque el problema es de por sí un problema no lineal. Las iteraciones continúan hasta que los ajustes en la posición del transmisor sean lo suficientemente pequeños, momento en el que se considera que la solución de geolocalización ha convergido.

Ya que las mediciones de TDOA y FDOA en el tiempo están vinculadas a la ubicación del transmisor a través del modelado de leyes físicas, las soluciones de geolocalización también están disponibles para otras combinaciones de tipos de medición. Por ejemplo, la geolocalización de transmisores de CW es posible a partir de una serie de mediciones de FDOA, con menor precisión en comparación con los que han estado disponibles con sus correspondientes mediciones de TDOA, que son accesibles a partir de una señal de banda ancha. Por otra parte, el uso de un tercer satélite, para generar un segundo conjunto de mediciones de TDOA y/o FDOA, también puede ofrecer soluciones mejoradas, sin embargo, esto se logra a costa de un mayor uso de los recursos de la antena del receptor. Soluciones únicamente TDOA son posibles mediante el uso de un tercer satélite, pero las superficies de constante TDOA derivadas de dos pares de satélites son casi paralelas, haciendo que su uso práctico dependa más de la precisión de la medición de TDOA o tome más tiempo para reunir las mediciones.

En la práctica, la precisión de las efemérides de cada uno de los dos satélites limita la precisión de la solución de geolocalización. El rendimiento de geolocalización se puede mejorar a través de mediciones de TDOA y FDOA de señales de transmisores separados, algunas veces referidas como localizadores de referencia, que se originan en lugares conocidos y pasan por el mismo par de satélites que la señal de interés. Estos localizadores de referencia se utilizan para refinar las efemérides orbitales de uno o ambos satélites que, a su vez, mejoran la precisión de la estimación de la ubicación de la señal del transmisor de interés.

3.3.11.2.7.3 Análisis de la incertidumbre

El objetivo del análisis de la incertidumbre de un problema de geolocalización es proporcionar una evaluación realista de la precisión de una solución de geolocalización.

La realización de análisis de la incertidumbre precisos a veces puede ser compleja y difícil. La precisión de las mediciones individuales de TDOA y FDOA son proporcionales a la raíz cuadrada de la relación S/N obtenida en la solución de correlación. La precisión de las mediciones de TDOA y FDOA también son proporcionales al ancho de banda de la señal y al tiempo de medición, respectivamente. La solución de geolocalización menos cuadrada proporciona estimaciones formales de error e intervalos confiables de la ubicación del transmisor de interés que se basan en la incertidumbre asignada a las mediciones de TDOA y FDOA. La confiabilidad de estas incertidumbres de TDOA y FDOA se puede comprobar estadísticamente contra sus mediciones residuales correspondientes. Por otra parte, si un número suficiente de mediciones de TDOA y FDOA está disponible, las incertidumbres en

las mediciones de TDOA y FDOA se pueden estimar mediante el mismo procedimiento de solución.

Se deben tener en cuenta dos advertencias: en primer lugar, las incertidumbres en las mediciones de TDOA y FDOA pueden ser lo suficientemente grandes como para invalidar la hipótesis de que la solución es lineal en la región extendida del parámetro del espacio. Esto significa que los errores formales generados por el algoritmo de geolocalización que se basan en análisis estadísticos lineales son menos precisos. Las técnicas de Monte Carlo [35] pueden ser empleadas para generar mejores estimaciones de la incertidumbre en estos casos.

En segundo lugar, las incertidumbres formales se ocasionan por errores aleatorios y solo en parte por errores sistemáticos. Los errores sistemáticos pueden surgir, por ejemplo, por medio de modelos incompletos de la física de las mediciones de TDOA y FDOA o en la fuerza del modelo utilizado para producir la efemérides del satélite. El impacto de los errores sistemáticos puede ser evaluado a través de una simulación muy completa de la técnica de geolocalización y todas sus fuentes de error sistemático.

Existen varias imprecisiones posibles que resultan en un error de ubicación. El error puede ser reducido considerablemente mediante el uso de transmisores de referencia, cuyas coordenadas geográficas se conocen con exactitud (ver Figura 101).

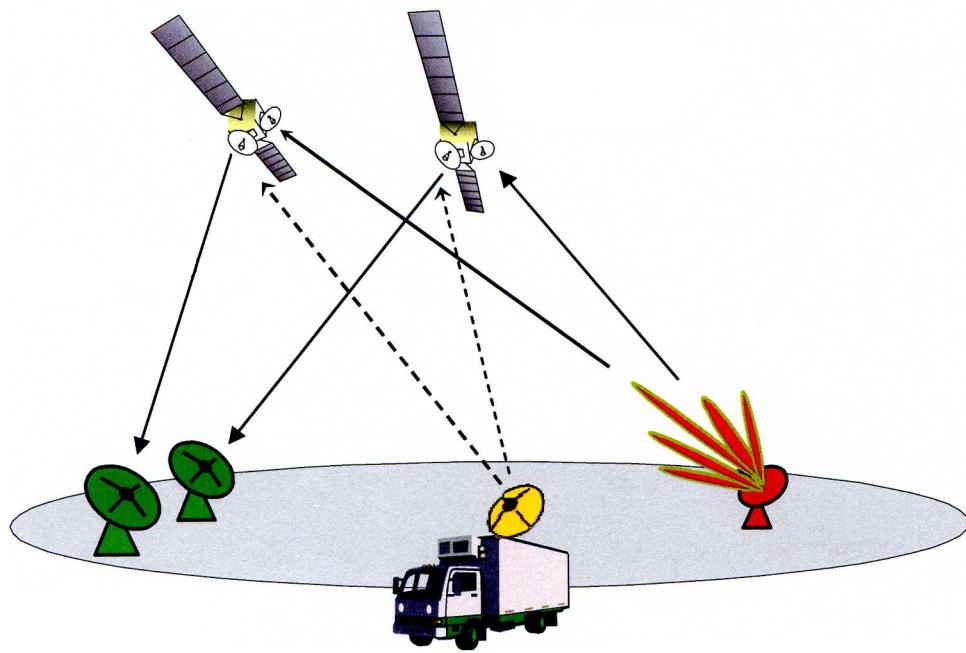
Las estaciones de referencia desplegadas sobre un área grande pueden eliminar los errores causados por imprecisiones de la efemérides, mientras que el uso de estaciones de referencia situadas en las proximidades de la interferencia pueden minimizar el error de ubicación (ver secciones 3.3.11.5.4.5 y 3.3.11.5.4.6).

3.3.11.2.8 Geolocalización de transmisores terrestres utilizando un solo satélite GSO y desplazamiento Doppler inverso

La ubicación de un transmisor (o interferencia) en la superficie de la Tierra puede ser determinado bajo ciertas condiciones usando las señales transmitidas, retransmitiéndolas a través de un único satélite geoestacionario de comunicaciones. El pequeño desplazamiento Doppler en la frecuencia portadora de la señal, que es inducido por el ligero movimiento del satélite relativo a la Tierra en una órbita, puede ser explotado para calcular la ubicación del transmisor (en decenas de kilómetros) hasta el punto que las unidades móviles puedan ser desplegadas, para localizar el transmisor o el lugar de interferencia. La técnica utiliza las mediciones de la frecuencia portadora haciendo transmisiones cortas no frecuentes distribuidas en varias horas. Las técnicas de súper resolución y procesamiento de señal se utilizan para estimar el pequeño desplazamiento Doppler en las señales transmitidas con el grado necesario de precisión. Las predicciones de la posición y velocidad de un satélite pueden ser refinadas utilizando un transmisor de referencia.

FIGURA 101

Geolocalización de los transmisores terrestres con TDOA y FDOA de dos satélites de geoestacionarios utilizando un transmisor de referencia



La inclinación distinta a cero y la excentricidad de una órbita GSO producen un movimiento en el satélite respecto a la superficie de la Tierra. Este movimiento produce un pequeño desplazamiento Doppler, el cual puede ser explotado para estimar la ubicación del transmisor. La técnica inclusive hace uso de las observaciones de las transmisiones no frecuentes y cortas, propagadas en un periodo de varias horas. Las frecuencias portadoras de las transmisiones se deben medir con una precisión muy alta para utilizar este método. Se aplica una técnica iterativa no lineal de estimación. Véase la sección 3.3.11.2.8.3 y la Figura 101, para una descripción de las excursiones satelitales GSO.

Por todas estas razones, la aplicación del método de localización geográfica utilizando un satélite es muy difícil. Por otra parte, impone suposiciones sobre el propio transmisor que generalmente no se cumplen, como, por ejemplo:

- Oscilador local del transmisor ultra estable durante un largo periodo de tiempo.
- Emisión del transmisor durante un largo periodo de tiempo.

3.3.11.2.8.1 Algoritmo de geolocalización

El algoritmo de geolocalización utiliza una expresión matemática (f_R) para predecir la frecuencia portadora de una señal que es retransmitida a través de un satélite GSO. La expresión incluye la posición y la velocidad conocidas del satélite y la ubicación del receptor, así como la ubicación desconocida del transmisor buscado. Los efectos del desplazamiento Doppler en el enlace ascendente, la translación de frecuencia en el transpondedor del satélite y el desplazamiento Doppler en el enlace descendente deben ser tenidos en cuenta.

Todas las cantidades vectoriales están expresadas en el sistema de coordenadas cartesianas tridimensional centrado y fijo en la Tierra.

$$f_R = \left[f_T \cdot \left(1 + \frac{\vec{v}_S \cdot (\vec{r} - \vec{r}_S)}{c \cdot \|\vec{r} - \vec{r}_S\|} \right) + \Delta_f \right] \cdot \left(1 + \frac{v_D}{c} \right) \quad (23)$$

Donde:

- f_R : frecuencia portadora de la señal recibida
- f_T : frecuencia portadora de la señal transmitida
- v_S : velocidad vectorial del satélite durante la observación
- r_S : posición vectorial del satélite durante la observación
- r : posición vectorial del transmisor
- Δ_f : translación de frecuencia en el transpondedor del satélite
- v_D : tasa escalar del rango entre el satélite y el receptor
- c : velocidad de propagación de la señal.

La ecuación (23) es una función de parámetros conocidos y desconocidos. Los parámetros conocidos consisten en la posición y la velocidad del satélite, translación de frecuencia y la tasa del rango entre el satélite y el receptor. La posición y velocidad del satélite y la tasa del rango son dependientes del tiempo. El conjunto de parámetros desconocidos consiste en la ubicación y frecuencia portadora del transmisor. Las mediciones de la frecuencia real de la portadora de la señal en el receptor se realizan en varios momentos de observación. El algoritmo de geolocalización estima un conjunto de parámetros desconocidos, de tal manera que la suma de los cuadrados de los errores entre la frecuencia portadora medida y la frecuencia portadora que se predice a partir de la expresión, sean mínimos.

El algoritmo de geolocalización usa una versión lineal de la expresión de la frecuencia recibida, que es una expansión multidimensional de primer orden de la serie de Taylor

de la ecuación (23). Se puede formar un conjunto lineal de ecuaciones usando esta expresión y realizando un ensamblaje para la ecuación matricial:

$$\mathbf{E} = \mathbf{A}\Delta \quad (24)$$

Donde \mathbf{E} es el vector columna de las mediciones de la frecuencia portadora de la señal recibida en cada una de las observaciones, y $\mathbf{A} = [A_f \ A_x \ A_y \ A_z]$, donde cada columna vectorial A_i es la derivada de la expresión con respecto al parámetro i , calculado en cada tiempo de observación, y Δ es el vector de errores entre los valores de los parámetros verdaderos y sus estimaciones iniciales. La ecuación de la matriz se ha resuelto para el vector Δ en un sentido lineal de mínimos cuadrados y este vector de errores se utiliza para realizar las iteraciones y refinar las estimaciones iniciales de los parámetros. Puesto que la ecuación lineal utilizada es solo una aproximación al modelo, se llevan a cabo varias iteraciones del proceso, utilizando las estimaciones más recientes de los parámetros obtenidos para cada paso. Los valores de los parámetros convergen a las estimaciones de la frecuencia y ubicación finales.

3.3.11.2.8.2 Medición de frecuencia (Doppler)

Ya que un satélite GSO se mueve lentamente en relación con un punto fijo en la Tierra, el desplazamiento Doppler observado en un enlace de comunicaciones es pequeño, del orden de decenas de hertz. La geolocalización exacta depende por lo tanto de estimaciones muy precisas de la frecuencia portadora (estándar rubidio es suficiente).

El algoritmo MUSIC (clasificación de múltiple señal) puede ser utilizado para la estimación de la frecuencia. La resolución del estimador de frecuencia está limitada solo por la precisión de la máquina y no por la longitud del conjunto de datos. La precisión de las estimaciones se ve limitada por la relación S/N. El algoritmo MUSIC produce una estimación de la frecuencia mucho más precisa que los algoritmos basados en la transformada de Fourier.

3.3.11.2.8.3 Corrección de la posición y la velocidad

Los resultados precisos de la geolocalización dependen del conocimiento preciso de los vectores de posición y velocidad del satélite en cada momento de la observación. Normalmente, estos vectores se calculan utilizando un modelo de propagación de la órbita y un conjunto de seis elementos orbitales que describen la órbita del satélite. Estos elementos se actualizan periódicamente con base a las observaciones del satélite y los conjuntos de elementos actualizados disponibles. Los algoritmos de propagación de la órbita modelan los efectos gravitacionales de la Tierra, el Sol y la Luna, para predecir la posición y la veloci-

dad del satélite para tiempos posteriores a los tiempos en los que se calculan los elementos. Hay fuerzas que afectan el movimiento de un satélite de las cuales no hay modelo. Por lo tanto, la posición resultante y las estimaciones de la velocidad se vuelven cada vez menos precisas a medida que la diferencia entre el tiempo de predicción y el tiempo en el que se actualizó el conjunto de elementos se vuelve mayor. La translación de frecuencia dentro del transpondedor del satélite tampoco se puede conocer con precisión.

Es necesario ajustar las predicciones de posición y velocidad del satélite y la frecuencia de translación, para mejorar la precisión de las estimaciones de ubicación. Un transmisor de referencia en un lugar conocido y con una frecuencia portadora conocida se pueden utilizar para ajustar estos valores. El transmisor de referencia debe transmitir señales a través del satélite durante el mismo periodo en el que se observan las señales de interés. La frecuencia portadora de cada una de las señales de referencia observada en el receptor, se calcula de la misma manera que una señal objetivo. Estas frecuencias de referencia observadas se comparan con las frecuencias que se predicen mediante la evaluación de la expresión con la ubicación conocida del transmisor de referencia y las estimaciones iniciales del conjunto de elementos orbitales y la frecuencia de translación, para ajustar los resultados. La Figura 102 ilustra la mejora de las predicciones de frecuencia, obtenida con los elementos orbitales y la frecuencia de translación reajustados.

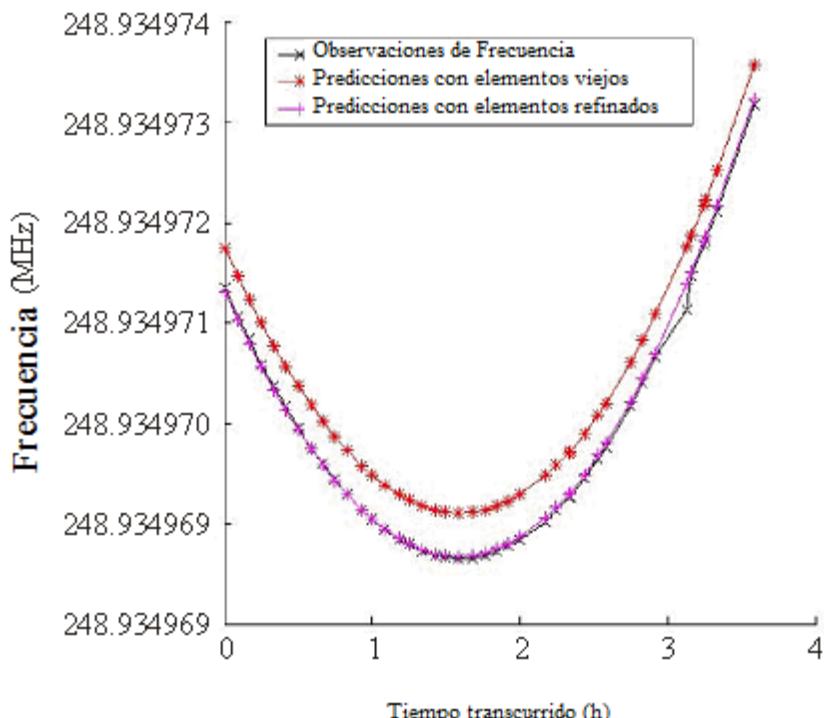
3.3.11.2.9 Mediciones de la frecuencia de ocupación y mediciones de ocupación de la posición orbital de GSO

Los preparativos en la planificación de nuevos sistemas de satélite deben incluir investigaciones específicas sobre la ocupación de las frecuencias de enlace descendente, por parte de otros sistemas satelitales. Esto se aplica en general, ya que no siempre se puede suponer que la utilización de las frecuencias ha sido objeto de coordinación o notificación. Estas mediciones de ocupación, por lo tanto, son valiosas para evitar la interferencia inesperada.

El equipo de grabación automática del espectro radioeléctrico ha demostrado ser muy útil para monitorear las emisiones de satélites de órbita baja. Utilizando antenas no direccionales o de forma hemisférica, los resultados obtenidos durante un periodo de varios días permiten la determinación de la ocupación de la banda de frecuencias por las emisiones de satélite. Además, la determinación aproximada de las frecuencias de satélite es posible, como lo son los tiempos de recepción esperados y el cómputo del periodo de revolución con un buen grado de precisión. Un ejemplo de un registro del espectro de frecuencias se da en la sección 3.3.11.7.

FIGURA 102

Predicciones mejoradas de la frecuencia con la refinación de los elementos orbitales



Los métodos generales para el monitoreo de la ocupación de frecuencia que utilizan antenas de baja ganancia son, como regla general, no apropiados para bandas de frecuencias por encima de 3 GHz. Para señales de baja PFD se requieren antenas direccionales con la ganancia de antena apropiada. Sin embargo, en el caso de las estaciones espaciales GSO es posible:

- Determinar las posiciones ocupadas por las estaciones espaciales.
- Proporcionar los datos de frecuencia y tiempo en relación con la ocupación de las bandas de frecuencia en las posiciones ocupadas.

Con el fin de identificar las posiciones ocupadas se recomienda un proceso interactivo para dirigir la antena direccional que se utiliza para la recepción a lo largo de la órbita GSO en el ancho del haz de media potencia, durante el cual las mediciones son tomadas de forma continua de los analizadores de espectro utilizados para el procesamiento de señales, para controlar el cruce de los valores de umbral. Después de escanear el segmento de la órbita

visible para la estación de radio monitoreo, los analizadores se cambian a la siguiente subbanda de frecuencias y se repite todo el proceso.

Las mediciones de ocupación relacionadas con el tiempo y la frecuencia, para una posición predeterminada, permiten variaciones que deben ser coordinadas de manera precisa, con el objetivo seleccionado. Un ejemplo se ilustra en la sección 3.3.11.7.3.

3.3.11.2.10 Mediciones por debajo del piso de ruido

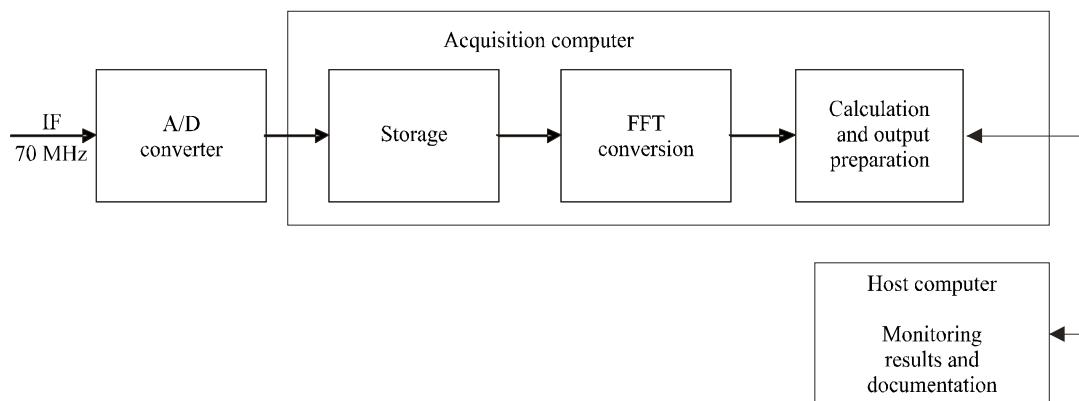
A menudo es necesario analizar señales de radio débiles o partes de las señales que se esconden debajo del piso de ruido. Especialmente, las emisiones de radio en el espacio sufren esta situación. La Recomendación UIT-R SM.1681 [36] —Medición de emisiones de bajo nivel procedentes de estaciones espaciales en las estaciones terrenas de comprobación técnica utilizando técnicas de reducción del ruido— fue desarrollada para resolver este problema. La Figura 103 muestra el diagrama de bloques típico para estas mediciones.

La medición de emisiones de bajo nivel, por debajo del piso de ruido, se basa en un método de integración que le resta el espectro de ruido a la señal.

Se realiza un muestreo de la señal IF utilizando un conversor análogo/digital y se almacena en un disco duro. Esta medición se repite por lo general 10.000 veces, para adquirir 10.000 muestras registradas. Inmediatamente después, la antena se coloca apuntando hacia una posición orbital adyacente, con el satélite por fuera del haz de la antena, y de esta manera solo se recibe el ruido en las mismas condiciones ambientales. Se toman otras 10.000 muestras y se almacenan en el disco duro. Las dos líneas de 10.000 muestras son promediadas linealmente y después se resta la una de la otra. Esto se traduce en una reducción típica del ruido de 10 a 20 dB.

FIGURA 103

Diagrama de bloques para el monitoreo por debajo del piso de ruido



Cabe señalar que es necesario que toda la ruta de recepción cuente con una excelente estabilidad de frecuencia. Además, cualquier desplazamiento notable en la frecuencia Doppler del satélite debe ser eliminado o deducido.

3.3.11.3 EQUIPO Y REQUISITOS DE LAS INSTALACIONES

El propósito de los siguientes apartados es destacar algunas características del sistema. Más detalles acerca de la figura de mérito, los sistemas de antena, la dirección de la antena y el seguimiento automático están contenidos en el Manual de la UIT sobre comunicaciones por satélite (servicio fijo por satélite) y en las publicaciones que se detallan en la bibliografía.

3.3.11.3.1 General

El concepto técnico de una estación de radio monitoreo, para los servicios espaciales, está determinada esencialmente por las tareas que se realizan de acuerdo con las necesidades específicas del organismo gestor. Los nuevos desarrollos en el campo de los servicios espaciales deben ser considerados durante la planificación del concepto. Algunos aspectos importantes se enumeran en la Tabla 25.

TABLA 25

Tareas y su esfera de influencia con respecto al concepto técnico de estación de monitoreo para los servicios espaciales

No.	Tarea	Esfera de influencia
1	¿Qué partes del espectro de frecuencias se deben poder monitorear?	Número y tipo de sistemas de antenas
2	¿Qué sistemas de satélite deben ser incluidos en el monitoreo? ¿Qué densidad de flujo de potencia producen estos sistemas en el lugar de recepción? ¿Qué C/N debe lograrse?	La figura de mérito del sistema receptor (ganancia de la antena, la temperatura de ruido del sistema)
3	¿Debe ser posible la determinación de la posición de los satélites geoestacionarios?	Precisión de apuntamiento, tipo de maniobrabilidad de la antena, concepto de receptor
4	¿Debe ser posible la determinación de los elementos orbitales de los satélites no GSO ?	Precisión de apuntamiento, tipo de maniobrabilidad de la antena, aceleración y la velocidad de maniobrabilidad, concepto de receptor
5	¿Debe ser posible determinar las características de polarización y las mediciones en el caso de los sistemas de doble polarización?	Sistema de alimentación de la antena

Las precisiones de medición requerida, por ejemplo, para mediciones de frecuencia y PFD, y en particular para las mediciones de ángulo para determinar la posición de las estaciones espaciales GSO o los elementos orbitales de los satélites no GSO, son de especial importancia.

En general, en estaciones de monitoreo más convencionales, el equipo para el monitoreo de las señales de las estaciones espaciales debe tener la suficiente flexibilidad para sintonizar un amplio rango de frecuencias, en contraste con la cobertura puntual de frecuencias, que es suficiente para satisfacer las necesidades de las agencias de investigación o de operaciones espaciales.

3.3.11.3.2 Figura de mérito de un sistema de monitoreo espacial

La captura de la relación C/N en la recepción de una emisión espacial depende de los siguientes factores:

- La PFD de la señal en el lugar de recepción.
- La ganancia de la antena receptora.
- La temperatura de ruido del sistema de recepción.

La figura de mérito, G/T , de un sistema de recepción es la relación entre la ganancia de la antena receptora en dirección a la señal recibida y la temperatura de ruido del sistema receptor, tal como se establece en la ecuación (25).

$$\left(\frac{G}{T}\right) = G - T_{RS} \quad (25)$$

$$\left(\frac{G}{T}\right) = \left(\frac{C}{N}\right) - \text{pfд} - 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + 10 \log(kB) \quad (26)$$

Donde:

G/T : figura de mérito ($\text{dB}(K^{-1})$)

G : ganancia de la antena (dBi)

T_{RS} : temperatura de ruido del sistema de recepción ($\text{dB}(K)$)

C/N : relación portadora a ruido deseada en el ancho de banda de medición B (dB)

PFD: PFD en el ancho de banda de medición, B ($\text{dB}(W/m^2)$)

$\Delta^2/4\pi$: área efectiva de una antena isotrópica (m^2)

k: constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} J/K) (W/Hz)

B: ancho de banda de medición (Hz)

En el caso del servicio fijo por satélite, las condiciones de acoplamiento para un sistema planificado se conocen con exactitud. La *G/T* requerida para una *C/N* determinada se puede calcular mediante la ecuación (26). El ancho de banda de medición es equivalente al ancho de banda de recepción. Es responsabilidad de quien desarrolla el sistema decidir si se debe lograr una *G/T* requerida, por medio de un incremento en la ganancia de la antena o una reducción en la temperatura de ruido.

Esa claridad en las condiciones no se puede esperar de la actividad de monitoreo del espacio, sin embargo, el método utilizado es similar. La *G/T* deseada se calcula con base en los valores más bajos de PFD de aquellas estaciones espaciales para las cuales la estación de monitoreo considera necesario el análisis técnico de las características de su emisión.

Es preferible medir directamente la *G/T* de un sistema de monitoreo espacial que tomar la relación de las medidas *G* y *T* por separado, debido a que la posibilidad de error se reduce. Las mediciones separadas de *G* y *T* también requieren el uso de un generador de señal, que introduce innecesariamente un factor adicional de incertidumbre. En lugar de una radio estrella, el sol es utilizado a menudo para mediciones de *G/T* para la calibración de la PFD en las estaciones de monitoreo debido a que su señal es mucho más fuerte. No obstante, si el sistema de recepción es lo suficientemente sensible, el uso de una radio estrella es mejor.

3.3.11.3.2.2 Procedimientos de medición de *G/T*

Es necesario contar con un receptor del tipo que normalmente se encuentra en las estaciones de monitoreo, con un indicador de voltaje de salida IF, por ejemplo, un voltímetro o un osciloscopio. Es altamente deseable que el indicador tenga una resolución de voltaje de 0.1 dB (1%) o mejor. El receptor debe ser estable y no debe tener cambios de ganancia significativos durante el periodo de medición.

Para las mediciones:

- Se debe apagar el circuito automático de ganancia del receptor.
- La antena debe estar apuntando hacia el Sol y se debe obtener la máxima señal. El Sol debe tener un ángulo de elevación superior a 30° para evitar los efectos atmosféricos y para asegurar que los factores de corrección r_1 y r_2 se vean mínimamente afectados.
- La antena debe ser girada, en azimut únicamente, lejos del sol, por ejemplo, a más de unos pocos grados. Debe tenerse en cuenta el nivel de tensión IF. Este voltaje corresponde al valor de referencia de cielo frío.

- La antena deberá ser devuelta en azimut hacia el sol y se debe tomar nota de la tensión. La diferencia de lecturas es igual a Y_{sun} (dB).
- La antena debe ser girada, en coordenadas de elevación únicamente, abajo del sol a una elevación de 5° y tomar nota de la tensión. La diferencia entre este nivel de tensión y el nivel de cielo frío es Y_x (dB) para x° de elevación. Cabe señalar que 5° de elevación (x°) es un estándar de referencia común.

La relación G/T puede evaluarse utilizando los valores medidos de Y_{sun} y Y_x y aplicando los valores de corrección r_1 y r_2 . La densidad de flujo del Sol, s , se puede obtener de un laboratorio nacional de normas.

Utilizando la ecuación de G/T , la incertidumbre de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la medición es del orden de <0.5 dB.

Es necesario que los procedimientos de medición se lleven a cabo en un día claro y soleado.

3.3.11.3.3 Sistemas de antena

La ganancia de la antena debe ser tan alta como sea posible a fin de proporcionar un buen límite mínimo de sensibilidad para el equipo de medición.

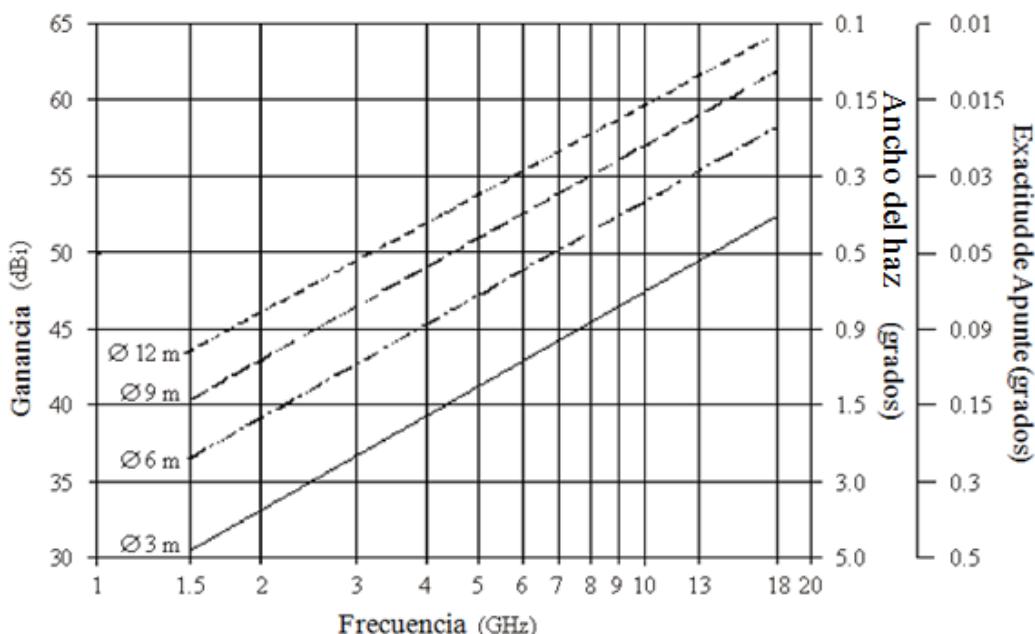
Las antenas helicoidales o arreglos de antenas dipolo son apropiadas para el rango de frecuencias de 100-1000 MHz. Como antenas individuales ofrecen una ganancia de entre 12 y 16 dBi.

Para el rango de frecuencias de 1 a 26.5 GHz, la más adecuada es un reflector parabólico con una alimentación de banda ancha en el foco primario. De ser necesario optimizar las características de polarización y directividad, lo mejor es una que utilice un sistema de alimentación intercambiable. Ejemplos de esas soluciones técnicas se presentan en el numeral 3.3.11.6.1. La Figura 104 ilustra la ganancia de la antena en función de la frecuencia para diferentes diámetros del reflector parabólico, considerando una eficiencia típica de la antena de un 55%. El diámetro del reflector debe tener un mínimo de 3 metros. En este caso, se pueden obtener ganancias de antena que van de 31 dBi en 1.5 GHz a 53 dBi en 18 GHz. La extrapolación a frecuencias más altas es aplicable. Generalmente, se utilizan antenas con un diámetro de entre 6 a 12 m.

En algunos casos, el uso de antenas log-periódicas puede ser una ventaja. Las antenas de este tipo proporcionan una buena cobertura en general en un rango de frecuencia de 10 a 1 y se han utilizado para el monitoreo de satélites en frecuencias comprendidas entre 50 y 5000 MHz. La desventaja en este caso es una ganancia de antena independiente de la frecuencia y casi constante, generalmente, por debajo de 10 dBi.

FIGURA 104

Ganancia de antena ancho del haz de 3 dB y precisión de apuntamiento en función de la frecuencia para diferentes diámetros del reflector parabólico y una eficiencia de antena del 55%



3.3.11.3.3 Dirección de la antena

El sistema de mando de la antena debe permitir el ajuste manual o controlado por computador. Si es necesario determinar la posición precisa de los satélites geoestacionarios, o si se requiere el cálculo de los elementos orbitales de una estación espacial con base en mediciones de ángulos, entonces se requiere el seguimiento automático. El seguimiento de pasos o mono pulso de seguimiento son las dos posibles soluciones.

La técnica de seguimiento de pasos se basa en mediciones de la intensidad de la señal recibida en las posiciones alrededor de la posición esperada del satélite. El óptimo se obtiene computacionalmente paso a paso. La técnica monopulso se basa en el análisis del tipo de ondas que llegan al receptor de seguimiento. Solo cuando la antena apunta directamente hacia el satélite, se produce el tipo de onda esperada (modo de guía de onda). Otros tipos de ondas producen la información de seguimiento para la correcta señalización. El seguimiento mono pulso se puede utilizar para los satélites GSO y no GSO sin producir ningún impacto en las mediciones de potencia.

3.3.11.3.5 Ancho de haz de antena necesario para mediciones de ángulo

La intención de este apartado es establecer una relación entre el ancho de haz de media potencia (3 dB) de una antena y la precisión de apuntamiento que se puede alcanzar. Esto es de interés para las técnicas de seguimiento automático en aquellos casos en que se considera que el monitoreo de la estación de mantenimiento de estaciones espaciales GSO o el cálculo de los elementos orbitales de los satélites no GSO son una tarea necesaria de una estación de monitoreo de radio (véase el apartado 3.3.11.2.6). La precisión del apuntamiento es una medición de qué tan bien un sistema de antena determina los ángulos de observación (azimut, elevación) de un objeto. En este sentido, hay una diferencia entre el monitoreo de estaciones espaciales y estaciones terrenas del servicio fijo por satélite, ya que, en este último caso, un error relativo de alineación, por más pequeño que sea (en relación a la estación espacial), es significativo.

Una relación entre el ancho de haz de media potencia de una antena y la máxima precisión de apuntamiento alcanzable se puede establecer de la siguiente manera:

$$R = n \cdot \theta_0 \quad (27)$$

Donde:

R : error de medición del ángulo (grados)

n : factor de mejora

θ_0 : ancho de haz de media potencia (grados)

Para las antenas de banda estrecha optimizadas, $n = 0.01$. Para una antena de banda ancha del tipo utilizado generalmente por una estación de radio monitoreo para servicios espaciales, un factor de 0.1 parece ser realista, si se utiliza un sistema mono pulso y, 0.15, si se utiliza un sistema de seguimiento de pasos. La variable restante, el ancho de haz de media potencia, es una función del diámetro del reflector.

El ancho de haz de media potencia adecuado debe seleccionarse teniendo en cuenta la menor tolerancia de la posición longitudinal de $\pm 0.1^\circ$, como se define en el Reglamento de Radiocomunicaciones. Una tolerancia de $\pm 0.1^\circ$ de la longitud define un segmento angular del plano de la órbita ecuatorial. En el caso restrictivo, donde funciona una estación de monitoreo en el Ecuador, el mantenimiento de la posición tendría que comprobarse mediante mediciones de ángulo únicamente en el plano de elevación de la antena. Cuando la estación de monitoreo se desplaza hacia el norte o hacia el sur, la rotación se lleva a cabo en el plano de azimut de la antena de monitoreo. En el caso de latitud 50° , por ejemplo, esto significa que el mantenimiento de la tolerancia longitudinal de la estación espacial GSO se mide, predominantemente, como la diferencia angular en el plano de azimut de la antena, alcan-

zando el valor de $\pm 0.13^\circ$ para una diferencia longitudinal de 0° entre la estación de monitoreo y el punto del satélite y se reduce a $\pm 0.085^\circ$ para una diferencia longitudinal de 60° . El error de medición correspondiente en este ejemplo es de $\pm 0.01^\circ$, es decir, menor en un factor de 10 en comparación con la tolerancia permitida.

La Figura 104 contiene los valores del ancho de haz de media potencia y la precisión de apuntamiento de la antena en función del diámetro del reflector y la frecuencia. Es evidente que la implementación completa del monitoreo de posición como una tarea de monitoreo está sujeta a restricciones, especialmente en el caso de las bandas de frecuencias más bajas. Requisitos menos estrictos, que permiten el uso de sistemas de antenas más pequeñas, son permitidos en los casos en que se deben identificar solamente divergencias o desviaciones mayores en el mantenimiento de la posición, por ejemplo, en las investigaciones de interferencia perjudicial.

3.3.11.3.6 Sistema de polarización

Para las mediciones de polarización, véase la sección 3.3.11.2.5, las características del sistema de antena deben considerarse cuidadosamente. Como el uso de polarizaciones circulares y lineales en las bandas de frecuencias por encima de 1 GHz y polarizaciones duales en las bandas de frecuencias del servicio fijo por satélite son técnicas estándar, es necesario que la polarización del sistema de recepción pueda adaptarse al de la señal recibida y que la discriminación de polarización alcanzada sea suficiente.

Además de permitir que se puedan obtener las características de polarización de la señal recibida, un sistema de este tipo también proporcionará la ganancia máxima de antena y la máxima reducción en las señales de interferencia entre los dos planos de polarización ortogonal, lo cual es un requisito para la mayoría de las mediciones indicadas en la sección 3.3.11.2.

3.3.11.3.7 Receptores

Por razones económicas y debido a que se requiere cobertura general en las estaciones de monitoreo, las figuras de ruido extremadamente bajo de los receptores de frecuencia fija, utilizadas para la investigación espacial con fines operacionales, no son alcanzadas por receptores de monitoreo ajustables. Sin embargo, la figura de ruido del sistema de recepción de una estación de monitoreo para servicios espaciales afecta la figura de ruido total del sistema. Su reducción al valor más bajo posible es un objetivo importante durante la fase de diseño de una estación de monitoreo para servicios espaciales. Esto es cierto, a pesar de que es posible, en casi todos los casos, mejorar la relación *S/N* mediante el filtrado de banda estrecha de una parte del espectro de emisión.

Para frecuencias por debajo de 3 GHz se pueden utilizar receptores de monitoreo estándar. Para aquellas frecuencias por encima de 3 GHz se debe utilizar un sistema receptor de microondas con diseño modular, para satisfacer las diversas necesidades. El concepto convencional, donde el receptor se presenta como una unidad autónoma, no puede ser utilizado porque, debido a las altas pérdidas en los cables en el rango de microondas, la parte frontal del receptor debe estar situada cerca de la antena, mientras que los módulos de baja frecuencia y las instalaciones de monitoreo pueden encontrarse en la sala de operaciones. Un ejemplo de las especificaciones del sistema de recepción para las bandas C y Ku se presenta en la Tabla 26.

En el caso de métodos automáticos para la medición del desplazamiento Doppler, donde se requiere un contador de frecuencia, el receptor tiene que entregar una señal de salida libre de ruido, lo que representa con precisión la frecuencia portadora del satélite. Para ello, el receptor debe proporcionar una sincronización cerrada en fase a la frecuencia portadora del satélite. El ancho de banda del bucle debe poderse ajustar entre unos pocos hertz y unos pocos cientos de hertz. La frecuencia de salida de un circuito cerrado en fase también puede ser utilizada como una frecuencia piloto para el ajuste de la frecuencia de un segundo receptor durante las mediciones de ancho de banda, como se indica en la sección 3.3.11.2.3.

TABLA 26

Ejemplo de las características del sistema de recepción

Sintonizador y sintetizador	
Rango de frecuencias	1-18 GHz con varios sintonizadores superpuestos
Ancho de banda de la frecuencia de recepción	Frecuencia central: ± 50 MHz
Error de frecuencia	$< \pm 2.5 \times 10^{-8}$
Rango dinámico libre – IM	>66 dB (1 MHz de ancho de banda)
Fase de ruido del oscilador	<-90 dBc (Hz) (10 kHz de la portadora)
Receptor de banda ancha	
Paso de sintonización mínimo	1 kHz
Ancho de banda del filtro IF	0.05/0.3/1.25/2.5/5/10/20/40 MHz

Para propósitos más generales, si se debe recibir una señal de satélite sin portadora, y si la PFD de esta señal es suficiente, se puede utilizar un dispositivo de ajuste automático de frecuencia para evitar la distorsión del ancho de banda y las mediciones de PFD por efecto del desplazamiento Doppler en la frecuencia de la señal recibida.

Se debe contar con las siguientes salidas en el receptor para facilitar las mediciones: salidas de frecuencia intermedia de banda ancha y banda estrecha, salidas de frecuencia de video, salidas de audio frecuencia y salidas de frecuencia de banda base (AM/FM). La frecuencia intermedia debe ser la misma para todos los receptores de una instalación de medición, para que el mismo equipo auxiliar se pueda utilizar con todos los receptores.

3.3.11.3.8 Equipos periféricos

3.3.11.3.8.1 *Equipos generales*

La Tabla 27 contiene una lista de algunos equipos periféricos necesarios para las mediciones anteriores y otros equipos útiles que pueden ser añadidos al sistema de recepción.

TABLA 27
Equipos periféricos

Equipos periféricos necesarios		Equipos periféricos adicionales	
Tipo de equipo	Función	Tipo de equipo	Función
Frecuencia/hora estándar	Referencia central	Demodulador de TV	Demoduladores de portadoras FM y portadoras de TV con modulación digital
Contador de frecuencia	Mediciones de desplazamientos de frecuencia Doppler	Decodificador de TV	Decodificación de señales de TV de banda base (NTSC, PAL, SECAM, HDTV)
Divisor de tiempo	Tiempo del pulso para el contador de frecuencia	Demodulador de sonido de portadora	Demodulación de sonido de subportadoras de TV
Analizadores de señal	Análisis del espectro, mediciones de banda ancha	Analizadores de modulación	Sintonizable
Medidor de potencia	Mediciones de PFD		Identificación de tipos de modulaciones
Generador de señales	Mediciones de referencia PFD		Mediciones de modulación
Grabadora	Propósitos generales		
Osciloscopio digital	Propósitos generales		

3.3.11.3.8.2 *Analizadores*

Los analizadores de espectro han demostrado ser uno de los instrumentos más poderosos, no solo para el monitoreo general, sino también para propósitos de monitoreo del espacio. Para que puedan utilizarse para tareas de monitoreo, los analizadores de espectro deben ser capaces de trabajar de forma interactiva con otros equipos controlados por computador.

Para poder producir visualizaciones espectrales en tiempo real y mediciones de potencia se pueden usar analizadores FFT o analizadores vectoriales.

Los anchos de banda y las curvas del filtro apropiados para las diferentes modulaciones (FM, QPSK, etc.) pueden ser elegidos mediante la programación de filtros digitales. El análisis FFT muestra un espectro en tiempo real y no es necesario un periodo significativo de tiempo de barrido sobre el ancho de banda de la señal como con los analizadores de espectro convencionales.

3.3.11.3.9 Banda ancha RF o canal de monitoreo IF

Se recomienda para el diseño técnico del sistema de recepción de una estación de monitoreo para servicios espaciales, con el fin de permitir el monitoreo de banda ancha del espectro de radiofrecuencias. Se debe prever el análisis simultáneo de un ancho de banda mínimo de 500 MHz.

3.3.11.3.10 Equipo de grabación del espectro de radiofrecuencia

Las características técnicas del equipo de grabación para el monitoreo del espacio (véase la sección 3.3.11.2.9) corresponden a los requeridos para efectos de monitoreo terrestre. Puesto que se tienen que utilizar antenas no direccionales de polarización lineal, la pérdida de ganancia de la antena tiene que ser compensada seleccionando un pequeño ancho de banda para el equipo de grabación. Como regla general, y en particular para las unidades de registro gráfico, el ancho de banda del espectro total analizado no debe exceder 2 MHz.

3.3.11.3.11 Requisitos computacionales

Los requisitos computacionales deben considerarse como parte integrante de una estación de monitoreo para servicios espaciales. Se pueden utilizar, por ejemplo, para:

- Cálculo de los elementos orbitales.
- Cálculo de los ángulos de apuntamiento de la antena a partir de los elementos orbitales.
- Orientación de la antena.

- Almacenamiento de los resultados de medición.
- Evaluación de los resultados de medición.

3.3.11.4 DOCUMENTACIÓN Y BASES DE DATOS SOPORTE PARA EL MONITOREO ESPACIAL

3.3.11.4.1 Consideraciones generales sobre documentación y bases de datos

El buen funcionamiento de una estación de monitoreo para servicios espaciales depende de la actualización continua de la documentación física o electrónica. Preferiblemente, estos documentos deben tomar la forma de un sistema de base de datos que contenga no solo los datos publicados oficialmente por la UIT, sino también un estudio de todos los satélites en órbita, junto con algunos de sus elementos orbitales más importantes (tiempo de revolución, inclinación, apogeo, perigeo). Los datos de las estaciones terrenas autorizadas por el organismo gestor son valiosos para la geolocalización de estaciones terrenas, especialmente para fines de identificación de los usuarios del espectro radioeléctrico no autorizados. Para facilitar las operaciones de monitoreo es necesario establecer una base de datos con el fin de registrar dos tipos de información: la información general de todos los satélites de interés y las características de los satélites que se obtendrán mediante el monitoreo.

Los datos oficiales publicados por la UIT son:

- Circular Internacional de Información sobre Frecuencias de la BR (BR IFIC) [37], en CD-ROM.
- Lista de Redes Espaciales [38] (en línea o en CD-ROM).
- Estaciones de Radiocomunicaciones Espaciales [49], en DVD-ROM.
- Reglamento de Radiocomunicaciones [17], impreso o en CD-ROM.

3.3.11.4.2 Base de datos de información general de los satélites existentes

La base de datos de información general de los satélites existentes describe, principalmente, las características y el servicio espacial autorizado por la licencia de un satélite dentro de la capacidad de monitoreo de la estación. La información más importante incluye:

- Información de la órbita de los satélites, incluyendo la distancia nominal de un satélite GSO, tolerancia de la distancia, información de efemérides de satélites no GSO, etc.
- Información del transpondedor, incluyendo el número de transpondedores, ancho de banda de los transpondedores, rango de frecuencias, frecuencia de la radiobaliza, ganancia máxima de la antena.

- Información sobre el haz del satélite, incluyendo la cobertura del haz, el área de servicio, la potencia máxima (dBW/m^2).

Además, la siguiente información de los satélites es útil para la geolocalización de las estaciones terrenas:

- Información geográfica, incluyendo longitud, latitud y altitud, etc.
- Información de la antena, incluyendo el tamaño de la antena, la ganancia, patrón de la antena, etc.
- Cualquier otra información, incluyendo asignación de frecuencias, ancho de banda, polarización, potencia de transmisión, tipo de servicio, tipo de modulación, tiempo de trabajo, etc.

Las fuentes de la información anterior pueden ser los operadores de satélites, las administraciones y medios de comunicación públicos.

3.3.11.4.3 Base datos de monitoreo

La base de datos de monitoreo se utiliza para registrar los resultados de las mediciones de la estación de monitoreo espacial. Los resultados de las mediciones deben incluir algunos parámetros clave, tales como frecuencia, polarización, ancho de banda, PFD, tipo de modulación, etc. Un análisis de la ocupación del espectro radioeléctrico, a largo plazo, puede facilitar su planificación.

Para facilitar el intercambio de datos entre las estaciones, los parámetros de monitoreo, tales como posición de la antena, parámetros de la antena, tiempo de medición y clima, etc., deben ser registrados en la base de datos.

3.3.11.4.4 Utilización de la documentación y bases de datos para facilitar el monitoreo

La documentación y bases de datos buscan los siguientes objetivos en el monitoreo:

Identificación de las estaciones espaciales

Las estaciones espaciales se pueden identificar a través de una comparación entre la base de datos de información general y los datos de monitoreo. Una introducción detallada al proceso de identificación de las estaciones espaciales se presenta en la siguiente sección.

Identificación de emisiones ilegales

Los ingenieros de monitoreo pueden identificar las emisiones ilegales a través de la comparación de las entradas correspondientes en la base de datos de información general que han sido aprobadas por el organismo gestor. Esto se puede lograr de forma automática por los sistemas de monitoreo y solo es aplicable cuando los datos aprobados de las portadoras están a disposición del organismo gestor.

Facilitar la geolocalización de las emisiones

Los sistemas de bases de datos pueden mejorar notablemente la eficiencia de la geolocalización de las emisiones. El análisis puede realizarse con base en la información de la base de datos, incluyendo:

- Análisis de satélites adyacentes.
- Selección de la señal de referencia.
- Análisis de interferentes potenciales.

Además, el Sistema de Información Geográfica (SIG) juega un papel importante en el monitoreo del espacio. Un sistema combinado de base de datos de estación y base de datos GIS puede dar al ingeniero de monitoreo una visión general del uso del espectro radioeléctrico. Un sistema conjunto puede ser utilizado en el análisis de posibles interferentes a estaciones espaciales.

3.3.11.5 IDENTIFICACIÓN DE ESTACIONES ESPACIALES Y GEOLOCALIZACIÓN DE ESTACIONES TERRENAS

La identificación de una estación espacial, generalmente, se basa en la comparación de las emisiones y las características orbitales medidas contra las que se encuentran en la base de datos de referencia y en la documentación. Las características de referencia consisten en una lista de las emisiones y características orbitales de todas las estaciones espaciales, que han sido publicadas o puestas a disposición del servicio de monitoreo. La estación desconocida se identifica mediante la eliminación iterativa de las estaciones que no corresponden con las características medidas. Las características de referencia se pueden encontrar en la Tabla 28.

Con el amplio uso de los satélites GSO, es necesario que las administraciones puedan identificar estaciones terrenas que transmiten hacia satélites GSO, para obtener información completa sobre el uso de las estaciones terrenas y la eliminación de las emisiones perjudiciales o ilegales. Cuando se utiliza el método de geolocalización descrito en el apartado

3.3.11.2.7, las imprecisiones posicionales normalmente pueden ser de decenas de kilómetros. Este nivel de precisión puede ser suficiente en la identificación de las emisiones de los usuarios legítimos. En cuanto a las emisiones ilegales, pueden ser necesarios otros medios de monitoreo terrestre, para identificar y finalmente eliminar la interferencia.

TABLA 28
Características de referencia

Características de las emisiones	De la órbita
Frecuencia	Datos de efemérides, o en su defecto:
Ancho de banda	-Periodo de revolución
Tipo de modulación	-Ángulo de inclinación de la órbita
Polarización	-Distancias de perigeo y apogeo
E.I.R.P.	-Tiempo de cruce del Ecuador y longitud de la travesía

3.3.11.5.1 Resultados de monitoreo que se utilizarán para la identificación

3.3.11.5.1.1 Evaluación de los registros de la banda de frecuencias

Con referencia al numeral 3.3.11.2.9 y al ejemplo dado en la sección 3.3.11.7.1 se pueden obtener valores aproximados de las características de la estación espacial, a partir de registros de la banda de frecuencias:

- Frecuencia.
- Tiempo de recepción esperado para satélites no GSO.
- Periodo de revolución.

3.3.11.5.1.2 El cálculo del periodo de revolución

Para el cálculo del periodo de revolución con un nivel de precisión de varios segundos, es posible obtener un valor aproximado inicial mediante la medición de los tiempos TCA de dos trayectorias sucesivas. Para obtener un resultado refinado es posible basarse en mediciones adicionales de TCA durante un periodo de uno o dos días.

3.3.11.5.1.3 Localización de la dirección (DF)

Como complemento a la determinación precisa del TCA de un satélite a una estación de monitoreo, se puede trazar una curva para mostrar el cambio en la dirección de llegada de la señal con el tiempo, según lo determinado por la dirección de los rodamientos de DF o la orientación de una antena de recepción altamente direccional. La tasa máxima de cambio angular se producirá cuando el satélite esté más cercano a la estación de monitoreo durante un determinado paso, y la información obtenida por este método debe estar de acuerdo con la información obtenida de la curva de desplazamiento Doppler.

Las mediciones de DF se adaptan bien para la determinación de los TCA en los casos en los que no existe una frecuencia portadora dentro del espectro. Sin embargo, las mediciones DF requieren de una PFD suficiente en el punto de recepción.

3.3.11.5.1.4 Cálculo de datos de efemérides a partir de mediciones de los ángulos de la antena

Si una estación de monitoreo está equipada con un sistema de antena de seguimiento automático, se pueden utilizar mediciones del ángulo en los planos de azimut y elevación para calcular los datos de efemérides del satélite desconocido. El software para llevar a cabo los cálculos está disponible comercialmente.

La precisión en la determinación de los datos de efemérides depende de:

- La precisión en la medición del ángulo, en general (véase la sección 3.3.11.3.5).
- El segmento de la órbita utilizado para mediciones del ángulo.
- El tipo de órbita del satélite.

Un problema operacional importante es la necesidad de apuntar la antena rápidamente en dirección a un satélite no GSO poco después de su entrada en el rango de visibilidad de la estación de monitoreo. Si bien la necesidad de obtener la medición precisa de los ángulos requiere de antenas muy direccionales, su uso hace más difícil buscar y encontrar un satélite LEO (en órbita terrestre baja), ya que la porción de la órbita que puede ser utilizada para la medición es menor que el total visible de la órbita. Un ejemplo que ilustra el cálculo de los elementos orbitales a partir de mediciones del ángulo se encuentra en la sección 3.3.11.7.2.

3.3.11.5.1.5 Características de la emisión

Las mediciones de las características de la emisión, como se indica en los apartados anteriores, pueden ser suficientes para la identificación de una estación espacial. Este es el caso particular de las estaciones espaciales que funcionan de conformidad con el Reglamento de Radiocomunicaciones y cuyas características de emisión son notificadas o publicadas.

3.3.11.5.2 Procedimiento para la identificación

Si las características de la emisión medidas no dan como resultado la identificación de una estación espacial, los datos de la efemérides medida, o parte de ellos, pueden ser de ayuda.

Al comparar los datos de la efemérides medida con los datos de referencia publicados, se seleccionan primero los objetos en órbita que tengan los datos más similares. La comparación posterior paso a paso de los datos debería resultar en una reducción significativa en el número de objetos a considerar. Finalmente, mediante el cálculo de los tiempos de visibilidad y el TCA para el resto de objetos, y al compararlos con los resultados de monitoreo, debe ser posible lograr una correcta identificación.

3.3.11.5.3 Otras posibilidades para la identificación de las estaciones espaciales

Los procedimientos que se han discutido hasta el momento, para la identificación de las estaciones espaciales, se basan en la comparación de las características de la señal medida y observada con la información publicada, y comparando los datos de mediciones de efemérides o parte de los datos (tiempo de revolución, ángulo de inclinación, TCA), con los datos de efemérides publicados. Este procedimiento, sin embargo, consume tiempo y requiere acceso a los datos de efemérides de los objetos en órbita.

En algunos casos, especialmente cuando se observa el incumplimiento al Reglamento de Radiocomunicaciones o en los casos de interferencia perjudicial, puede ser útil un procedimiento adicional. En estos casos, la estación de monitoreo para servicios espaciales podría registrar toda la información posible sobre mediciones de frecuencia y ancho de banda y otras características de la emisión, junto con los datos de efemérides, o parte de los datos, y, con base en estos datos, solicitar la identificación a los centros de identificación y seguimiento, o a los operadores de redes de satélites.

3.3.11.5.4 Consideraciones operacionales con respecto a la geolocalización del enlace ascendente de estaciones terrenas hacia satélites geoestacionarios

En la actualidad, existen sistemas comerciales de geolocalización disponibles, de diferentes fabricantes. Estos sistemas utilizan los principios descritos en la sección 3.3.11.7.2 para geolocalizar el enlace ascendente de estaciones terrenas hacia satélites GSO, y son adoptados por algunos operadores de satélites y administraciones. En esta sección se presentan algunas consideraciones operacionales de estos sistemas.

En principio, el operador del sistema de geolocalización debe determinar la naturaleza de la señal desconocida. Esto se puede hacer de dos maneras: por medio de instalaciones de monitoreo u obteniendo información a través del operador de satélites. A continuación, se requiere de un satélite adyacente para la prueba. El operador puede tener múltiples opciones al evaluar los satélites limítrofes candidatos. También debe ingresar otra información

requerida al sistema de geolocalización. Por lo general, se requiere una serie de señales de referencia, ya sea para cancelar los desplazamientos de los osciladores a bordo de los dos satélites, o para utilizarlas en el algoritmo de geolocalización, para corregir imprecisiones en la posición fijada, como resultado de errores de efemérides.

3.3.11.5.4.1 Adquisición de la información necesaria

El operador debe identificar alguna información útil con respecto a la señal bajo prueba. Por ejemplo, el satélite que transmite la señal desconocida, los planes de frecuencia de sus transpondedores, la frecuencia central, ancho de banda, ciclos de trabajo (para señales intermitentes) y las características de movilidad de la frecuencia de la señal desconocida. Con base en esta información, el operador selecciona los parámetros apropiados de observación para optimizar la probabilidad de éxito en la geolocalización.

La información anterior puede ser adquirida por otros medios de monitoreo o, si la señal desconocida está causando interferencias perjudiciales, la información puede ser proporcionada por la víctima.

También es útil registrar lo interferido con el transpondedor del satélite con un grabador de espectro, tan pronto como sea posible, después de que la interferencia sea reportada a la estación de monitoreo, con el fin de "ver" las actividades del interferente y la ocupación del transpondedor.

3.3.11.5.4.2 Selección de satélites adyacentes

Puede haber más de un satélite adecuado que pueda utilizarse como un satélite adyacente. La consideración principal es garantizar que el satélite adyacente seleccionado tenga la conectividad adecuada en los enlaces ascendente y descendente.

A partir de la frecuencia de enlace descendente y la polarización de la señal desconocida, el operador puede deducir cuáles son las correspondientes frecuencias de enlace ascendente y polarización de la señal desconocida. En los casos en que se utilicen ya sea haces de enlace ascendente, hemisféricas o puntuales, el patrón del haz ascendente puede limitar la región geográfica de la que es probable que se origine la señal desconocida. El operador debe tener en cuenta, sin embargo, que las antenas grandes de enlace ascendente que residen fuera del patrón principal del haz (del haz de interferencia del enlace ascendente del satélite), también pueden causar interferencias.

Al considerar la frecuencia del enlace ascendente de la señal desconocida y la polarización, así como la cobertura del haz principal de la antena del satélite, se puede determinar el (los) satélite (s) adyacente (s) candidato (s). Los criterios para la selección de los satélites adyacentes son los siguientes:

- Igual cobertura de frecuencia del enlace ascendente que el satélite principal.
- Igual polarización del enlace ascendente que el satélite principal.
- Igual cobertura del haz del enlace ascendente que el satélite principal.
- Separación angular del satélite primario a lo largo del arco geoestacionario.
- El transpondedor no utiliza procesamiento a bordo (OBP).

Los criterios principales de selección mencionados anteriormente se ordenan, se podría decir, de acuerdo con su importancia relativa. Los tres primeros criterios, frecuencia del enlace ascendente, polarización del enlace ascendente y cobertura del haz descendente, son requisitos absolutos para mediciones exitosas.

Una vez que el operador ha identificado uno o más satélites candidatos limítrofes con base en los criterios antes mencionados, los criterios secundarios se pueden utilizar para ayudar a hacer una selección final. Los criterios secundarios incluyen:

- Disponibilidad adecuada de señales de referencia para el par de satélites primario/adyacente.
- Calidad de los datos de efemérides disponibles para el satélite adyacente.
- Presencia/ausencia de señales en el transpondedor del satélite adyacente correspondientes a la frecuencia de la señal interferente.

Al hacer la elección final de los satélites adyacentes, el operador debe tener en cuenta que la solución geométrica óptima se obtiene de los satélites con datos de efemérides actuales y de buena calidad y con una adecuada selección de las señales de referencia para el par de satélites que se utilizan.

Las señales de referencia pueden aparecer en el satélite principal o adyacente. Si las señales adecuadas de referencia están disponibles en el satélite principal, este criterio no necesariamente conduce a la selección de los satélites adyacentes. Los transmisores de referencia dedicados, fijos o transportables también se pueden utilizar para mejorar los resultados de la geolocalización.

Otro factor que puede influir en la selección de un satélite adyacente es la orientación de las líneas de FDOA para el par de satélites elegido en el momento de la medición. A diferencia de las líneas de TDOA, la orientación de las líneas de FDOA para un par determinado de satélites puede variar significativamente a lo largo de un periodo orbital (1 día).

La mejor opción es encontrar un satélite adyacente sin señales en las proximidades de la señal interferente y de las señales de referencia. Para observar las actividades reales del transpondedor, se recomienda registrar el transpondedor del satélite utilizando una instalación de registro de espectros de frecuencia.

Si las mediciones se toman cuando las líneas FDOA son casi paralelas a las líneas de TDOA, el área resultante será muy extensa a lo largo de las líneas del TDOA constante. En

tales circunstancias, el operador debe considerar ya sea la elección de un satélite adyacente diferente, o la programación de diferentes mediciones adicionales en un momento en el cual la orientación de la línea del FDOA sea más favorable.

3.3.11.5.4.3 Señales de referencia

Una señal de referencia ideal es una señal de banda ancha de tiempo completo de enlace ascendente desde una ubicación conocida con precisión geográfica, que produce una fuerte correlación entre los dos satélites en uso. Esta ubicación precisa se puede obtener de la base de datos de estaciones terrenas, pero es preferible volverla a verificar con un receptor GPS portátil. En los casos en que las señales de referencia son abundantes, el operador debe tratar de utilizar las señales de referencia:

- Que provengan de un enlace ascendente desde una antena relativamente pequeña.
- Que estén bien distribuidas geográficamente.
- Con la modulación adecuada.
- Cuya frecuencia sea de secciones no utilizadas del transpondedor de los satélites adyacentes.

3.3.11.5.4.4 Datos de efemérides

La calidad de los datos de efemérides, tanto para el satélite principal como para el satélite adyacente, tendrá un impacto directo en la calidad del resultado. En la mayoría de los casos, el error en la efemérides se puede eliminar en gran medida mediante el uso de dos o más señales de referencia (véase el apartado 3.3.11.7.2, para obtener información detallada). Si los datos de efemérides son particularmente malos, como puede ocurrir inmediatamente después de realizar maniobras orbitales o cuando la época de los datos de efemérides es de varios días antes de la fecha de las mediciones, pueden resultar incertidumbres de posición tan grandes como de varios cientos de kilómetros. En este caso el operador debe esforzarse para obtener mejores datos de efemérides o usar un satélite adyacente alternativo.

El operador del sistema de geolocalización puede adquirir datos de efemérides de la siguiente manera:

- Solicitando los datos al operador de satélite (s).
- Descargando los datos publicados en sitios web.

A continuación debe comprobar los datos de efemérides con una medición de geolocalización de una estación conocida (por ejemplo, de referencia). Si la calidad del resultado no es suficiente, se puede aplicar una compensación de error de efemérides. Esta es una

posibilidad para compensar los errores de efemérides del satélite. Con tres o más estaciones de referencia se pueden llevar a cabo las mediciones de geolocalización. La compensación del error de efemérides corrige los datos de efemérides con un cálculo inverso de las mediciones de geolocalización.

3.3.11.5.4.5 Establecimiento de transmisores de referencia suplementarios dedicados

El operador del sistema de geolocalización puede encontrar insuficiente el número y la distribución geográfica de señales de referencia, para dar resultados precisos en algunas circunstancias. En algunos de los satélites, la mayoría de sus usuarios se encuentran en una o dos grandes ciudades, lo cual limita de manera significativa el número de señales de referencia disponibles para la geolocalización. Por lo tanto, es necesario que las administraciones establezcan una serie de transmisores de referencia suplementarios dedicados, para dotar al operador de un sistema de geolocalización, con más opciones en términos de señales de referencia. Estos transmisores deben:

- Cumplir con los requisitos técnicos de los operadores de satélites.
- Ser capaces de señalar los satélites geoestacionarios visibles a lo largo del arco geoestacionario.
- Estar bien distribuidos geográficamente.
- Tener una antena relativamente pequeña.
- Utilizar el/los tipo (s) de modulación adecuado (s).

Es aconsejable para las administraciones cooperar en el establecimiento de transmisores de referencia suplementarios dedicados en distintos lugares, y utilizarlos como referencia cuando sea necesario.

Antes de utilizar los transmisores de referencia suplementarios dedicados para transmitir hacia un satélite determinado, se requiere del consentimiento previo del operador de satélites. También se pueden requerir ciertas pruebas técnicas antes de transmitir.

3.3.11.5.4.6 *Transmisor de referencia transportable*

En general, es muy difícil encontrar un transmisor de enlace ascendente hacia un satélite GSO, especialmente en zonas urbanas. Dos factores principales son responsables de estas dificultades, uno es la obstrucción de las ondas radioeléctricas por edificios, la otra es la directividad de las antenas, por lo general alta, con lóbulos laterales muy débiles en dirección terrestre. Por lo tanto, sería útil apoyarse en transmisores transportables, para mediciones de TDOA y FDOA, con el fin de ayudar a determinar el emisor responsable de la interferencia perjudicial.

Como se mencionó en la sección anterior, antes de transmitir hacia un determinado satélite se requiere el consentimiento previo del operador de satélites, ya que algunas pruebas técnicas pueden ser requeridas antes de la transmisión.

En teoría, con un par de satélites dado, dos estaciones terrenas transmitiendo en frecuencias diferentes producen los mismos valores TDOA y dos valores FDOA con muy poca diferencia. Cuanto más cerca esté el transmisor de referencia a la interferencia desconocida, mayor será la precisión del algoritmo de geolocalización.

Antes de utilizar el transmisor de referencia transportable, el operador debe sacar el máximo provecho de todos los transmisores de referencia fijos para minimizar las imprecisiones en los resultados y el tamaño del área resultante. A continuación, se debe obtener consentimiento previo del operador de satélites para transmitir, teniendo en cuenta los parámetros técnicos de la transmisión. Finalmente, se deben aplicar los dos pasos siguientes:

- ✓ *Paso 1:* Mover el transmisor de referencia transportable al centro del área resultante y transmitir la señal de referencia según lo acordado por el operador del satélite. Entonces, el operador del sistema de geolocalización debe ser notificado con el fin de llevar a cabo las mediciones de geolocalización. También deben ser notificados sobre la posición exacta del vehículo.
- ✓ *Paso 2:* Las mediciones de geolocalización deben producir un nuevo resultado cuando se utiliza el transmisor de referencia transportable.

Los resultados se perfeccionan después del paso 2, y estos pasos se pueden repetir para obtener resultados aún mejores.

El operador del transmisor de referencia transportable debe mantener estrecho contacto con el operador del sistema de geolocalización. En la práctica, la selección de la ruta y la transmisión se verán afectadas por muchos otros factores, tales como, regulaciones de tráfico, y el operador debe tomar nota de estos factores.

3.3.11.6 SOLUCIONES TÉCNICAS POR EJEMPLOS

3.3.11.6.1 Ejemplo de una estación de radio monitoreo espacial

Esta subsección describe las partes más importantes de una estación de monitoreo del espacio. Por lo general, se compone de cuatro partes técnicas principales:

Parte 1: Sistema de antena (véase la sección 3.3.11.6.1.1)

Una o más antenas diferentes para cubrir todas las bandas de frecuencias de telecomunicaciones y las bandas de frecuencias espaciales de interés (antenas direccionales y omnidireccionales).

Parte 2: Instalaciones de recepción (véase sección 3.3.11.6.1.2)

Sistemas de alimentación, unidad de polarización, conversores de bajada, sistemas de calibración, fuente de frecuencia de referencia.

Parte 3: Equipo de monitoreo (véase la sección 3.3.11.6.1.3)

Ambos sistemas de medición, automática y manual, e instalaciones de análisis como analizadores de señal, receptores, sistemas de registro y analizadores de modulación que forman parte del equipo de monitoreo.

Parte 4: Instalaciones de monitoreo (ver sección 3.3.11.6.1.4)

Las instalaciones de monitoreo incluyen el hardware y el software para el control de posicionamiento de la antena, la configuración del sistema de recepción y la configuración de los equipos de monitoreo para facilitar los procedimientos de medición automática.

Generalidades

Ubicación de la estación de monitoreo:

La estación de monitoreo debe estar lo más lejos posible de las zonas urbanas e industriales que produzcan ruido generado por el hombre, teléfonos celulares y las RLAN (redes de radio de área local). Los enlaces fijos no deben cruzar por la ubicación del sitio. El área alrededor de la estación debe declararse como protegida y mantenerse libre de transmisores terrestres y enlaces fijos.

El paisaje alrededor de la estación de monitoreo debe ser llano, sin obstrucciones a la línea de vista por parte de cerros y/o edificios.

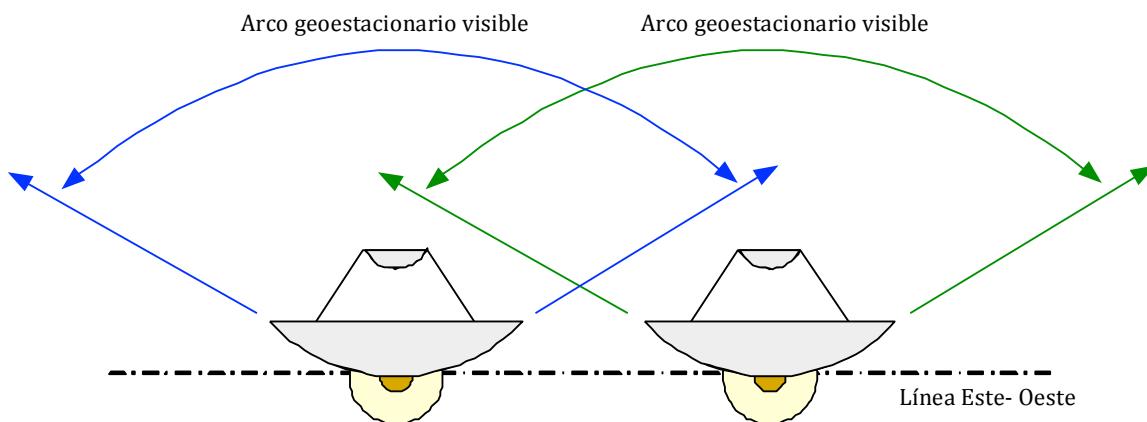
Configuración del sitio:

La ubicación de las antenas y las instalaciones físicas depende en gran medida del objetivo de monitoreo (satélites GSO o no GSO) y de la órbita geoestacionaria de interés. Se deben prever ampliaciones futuras.

Para las condiciones llanas y abiertas, las antenas pueden ser dispuestas en línea, por ejemplo, en línea de este a oeste.

La distancia entre las antenas debe ser suficiente en dirección hacia satélites GSO, y el ángulo visible del arco geoestacionario tiene que estar libre de obstáculos (ver Figura 105).

FIGURA 105
Separación entre antenas para monitoreo de satélites GSO

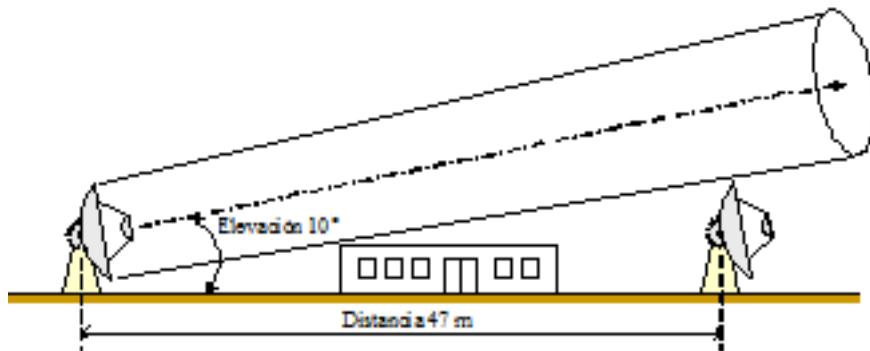


Para la recepción sin obstáculos de los satélites no GSO, el área alrededor de la antena debe estar libre de obstáculos en todas las direcciones (antenas, edificios), por lo menos hasta la elevación más baja requerida (ver Figura 106).

La Tabla 29 muestra la distancia ideal entre dos antenas (de 9 m de diámetro cada una), para una línea de vista (LoS) clara hacia los satélites. El ángulo de elevación es el ángulo más bajo para una vista sin obstáculos hacia el satélite.

Con el fin de optimizar el número de antenas necesarias, sin que haya un deterioro significativo en su rendimiento, se prefiere una combinación de bandas de recepción. Un sistema de medición de geolocalización requiere dos antenas que cubran la banda de frecuencia deseada.

FIGURA 106
Elevación de las antenas para monitoreo de satélites no GSO



Por ejemplo, una combinación de tres antenas (1 C/Ku, 1 L/S y 1 Ka) ofrece la capacidad de recibir, por ejemplo, enlaces de difusión, redes y, opcionalmente, señales de control y prueba de satélites. También es posible combinar 4 o 5 bandas de frecuencias utilizando una sola antena. Esto se puede lograr mediante el uso de una antena Cassegrain con un sistema de guía de onda del haz y dos cabinas, o utilizando un sistema giratorio de alimentación.

TABLA 29
*Distancia entre dos antenas (del mismo tamaño)
con línea de vista (LoS) despejada hacia los satélites*

Elevación (Grados)	Distancia (M)
5	99
10	47
15	30
20	22
25	18
30	16

La desventaja de esta antena multibanda es que solo se puede utilizar una banda de frecuencias al mismo tiempo.

3.3.11.6.1.1 Sistema de antena

Tipos de antena

- Antena de movimiento limitado.
- Antena de cabezal giratorio con un rango continuo de recorrido de azimut $> 180^\circ$.
- Antena de movimiento completo con el eje de elevación sobre el eje de azimut.
- Antena de movimiento completo con el eje de elevación sobre el eje de azimut sobre el eje de inclinación.
- Antena de movimiento completo con eje de inclinación de azimut sobre el eje de inclinación.
- Antena de movimiento completo con montaje X-Y.
- Hexápedo.

El monitoreo de satélites GSO o no GSO requiere diferentes tipos de antenas. Los tipos de antenas comúnmente utilizados se describen a continuación.

Antenas para el monitoreo de satélites GSO

Al monitorear satélites GSO se pueden utilizar antenas con lenta velocidad de azimut y elevación.

Sistemas de seguimiento que se pueden utilizar:

- Seguimiento asistido por computador con dos elementos de línea (TLE).
- Seguimiento de pasos.
- Seguimiento mono pulso.

Antenas para monitoreo de satélites no GSO

Se deben utilizar antenas de movimiento completo con mayor velocidad y un sistema de seguimiento. Dependiendo del tipo de pedestal de la antena (elevación sobre azimut o montaje X-Y), la velocidad requerida y la aceleración son diferentes.

Sistemas de seguimiento que se pueden utilizar:

- Seguimiento asistido por computador con dos elementos de línea (TLE).
- Seguimiento mono pulso.

FIGURA 107

Antena de 9 m, de movimiento limitado con pedestal Kingpost y tornillos niveladores en azimut y elevación

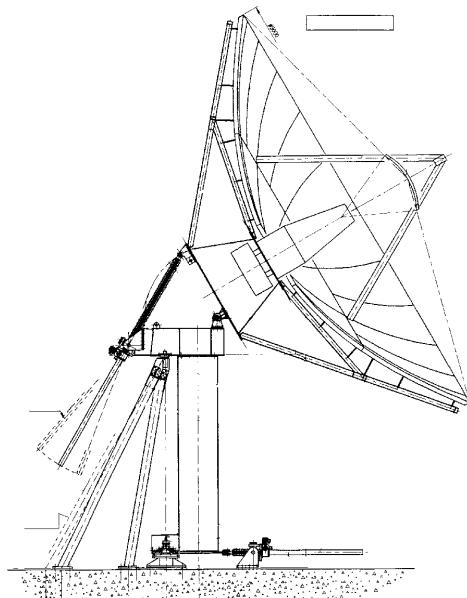
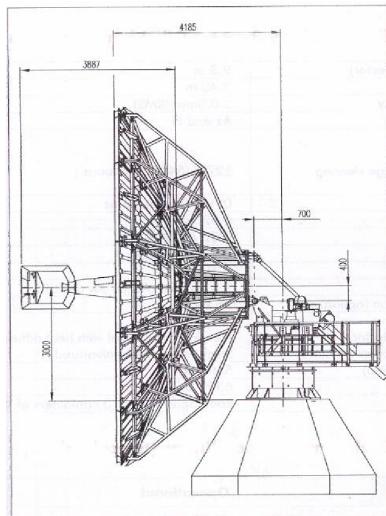


FIGURA 108

Ejemplo de una antena de cabezal giratorio de 9,3 m



9.3 m antenna roof top version (0° elevation)

Antenas con eje de elevación sobre el eje de azimut

Este tipo de antena se puede utilizar para todo tipo de satélites con órbitas de elevación hasta de 85°. En su cenit, este tipo de antena tiene un “keyhole”. Ofrece diferentes opciones para el montaje del equipo de recepción, por ejemplo, una cabina ubicada directamente en el plato.

El seguimiento de las órbitas de satélites de hasta 85° de elevación con este tipo de antena requiere una velocidad de azimut de alrededor de 15°/s, dependiendo de la altitud del satélite. Especialmente cuando se consideran satélites de órbita baja, con ángulos de elevación altos, se corre el riesgo de perder contacto con el satélite si la velocidad del azimut no es suficiente. El diagrama de la Figura 109 muestra la relación entre la órbita del satélite, la velocidad de azimut y el ángulo de elevación.

Para poder reducir la velocidad de azimut, las antenas se pueden utilizar con un eje de inclinación. Los sistemas de eje de inclinación desplazan todo el pedestal de inclinación de la antena. Esto permite el seguimiento de satélites, sin interrupción, incluso a la velocidad más baja de azimut. La órbita del satélite debe ser conocida (por ejemplo, elementos de dos líneas) para el cálculo avanzado del ángulo de inclinación. La inclinación no puede ser usada para satélites con datos de órbita desconocidos. Estos satélites pueden, por ejemplo, ser rastreados por medio de seguimiento mono pulso.

FIGURA 109

Relación entre la órbita del satélite, la elevación y la velocidad del ángulo de azimut en función de la altitud de la órbita y el ángulo de elevación

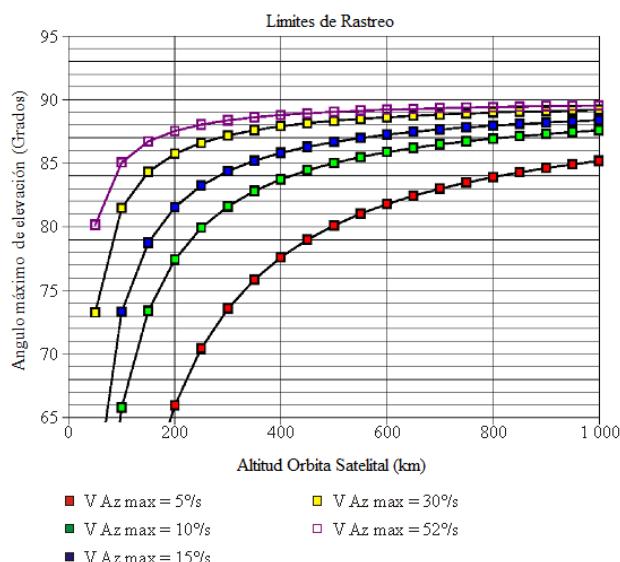


FIGURA 110

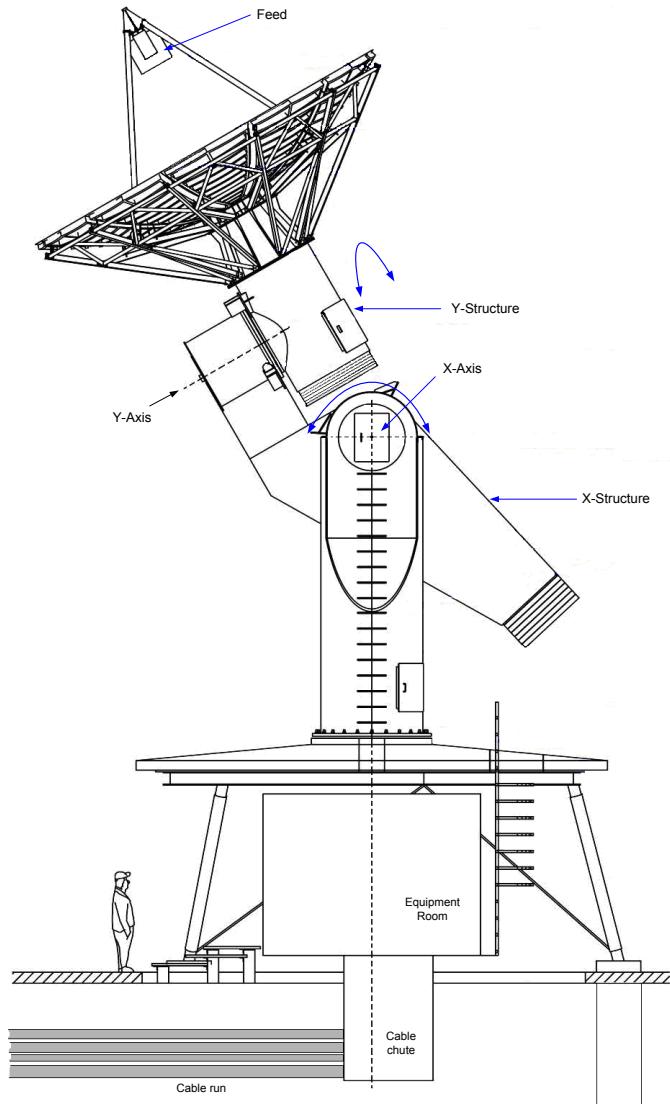
Antena Cassegrain con guía de onda, con elevación por encima del pedestal de azimut y dos cabinas para las instalaciones receptoras en la parte trasera del plato



Antena X-Y

Este tipo de antena tiene la ventaja de que puede rastrear cualquier tipo de órbita sin “keyholes” en el cenit. La construcción especial del eje necesita únicamente velocidad y aceleración bajas ($\leq 3^\circ/\text{s}$). Su desventaja es que la parte trasera de la antena proporciona un espacio limitado para los equipos de recepción.

FIGURA 111
Antena de 7 m X-Y de foco primario



Especificaciones de la antena

La Tabla 30 proporciona especificaciones técnicas prácticas de las antenas de monitoreo satelital. Dado que los requisitos dependen de la estación, las cifras de la tabla deben ser consideradas como especificaciones mínimas típicas. Los parámetros actuales, sin embargo, deben determinarse por requerimientos de medición específicos.

TABLA 30

Especificaciones técnicas prácticas de las antenas de monitoreo satelital

	Parámetro	Rendimiento		
		L/S/C de banda	Banda Ku	Banda Ka
a.	Rango de frecuencias	Banda L: 1 452-1 492 y 1 530-1 800 MHz Banda S: 2 100-2 300 MHz 2 500-2 690 MHz Banda C: 3 400 a 4 200 y 4 500-4 800 MHz	10.70-12.75 GHz	17.30-21.20 GHz
b.	Máximo nivel de señal en la entrada del amplificador de bajo ruido (LNA) (dBm)	≤ -30	≤ -30	≤ -30
c.	PFD rendimiento de medida (<i>C/N</i> al menos 23 dB)	-155 dBW/m ² en 4 kHz de ancho de banda	-165 dBW/m ² en 4 kHz de ancho de banda	-160 dBW/m ² en 4 kHz de ancho de banda
d.	PFD precisión de la medición (dB)PFD	±1	± 1	± 1
e.	Figura de mérito (<i>G/T</i>) (dB/K)	L = 20 S = 23 C = 28	37	33
f.	Precisión de frecuencia de referencia	Envejecimiento: una parte en 10^{-10} por día, Temperatura: una parte en 10^9 , 0° a 50° cambio total.		
g.	Polarización	X, Y, left-hand circular (LHCP), right-hand circular (RHCP)	X, Y, LHCP, RHCP	X, Y, LHCP, RHCP
h.	Resolución de frecuencia (kHz)	1	1	1
i.	Rango dinámico (dB)	≥ 60	≥ 60	≥ 60
j.	Antena	Diámetro del plato (m)	≥ 9 m	≥ 9 m
		Precisión de apuntamiento (grados)	0.15-0.04	0.02-0.017
		Ancho del haz (grados)	1.6-0.5	0.22-0.18
		Velocidad de rastreo de pasos para satélites GSO	00.02-2 °/s, accionamiento manual y seguimiento automático paso a paso (dependiendo de la longitud de la ubicación de la antena y la latitud)	
		Cobertura de los satélites GSO (grados)	EL: 0 a 90, AZ: ± 60	
		Cobertura de los satélites no GSO (grados)	EL: de 0 a 85, AZ: ± 270 (total de la cobertura de azimut de 360°), almacenamiento a 90°	

Nota 1: Los rangos de frecuencias de esta tabla y del subcapítulo 3.3.11, como las bandas L, S, C, no se definen en el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT [17], pero son ampliamente utilizados por la comunidad de comunicaciones por satélite. Estos rangos de frecuencias se pueden definir de forma ligeramente diferente, dependiendo de la fuente.

Nota 2: Para la medición de las emisiones fuera de banda, las bandas de frecuencias que figuran como comerciales (véase A) deben ampliarse. Las fuentes de emisiones terrestres deben ser bloqueadas con filtros.

3.3.11.6.1.2 Instalaciones de recepción

La ventaja de un sistema con guía de onda del haz es que el haz se puede dirigir hacia diferentes lugares con inserción de baja pérdida. Los alimentadores se pueden alojar en las cabinas de los equipos que ofrecen suficiente espacio para la instalación y mantenimiento de equipos y aire acondicionado. Los sistemas de alimentación para las antenas de monitoreo satelital son relativamente únicos, ya que estas antenas se usan solamente para recibir y, por lo general, cubren un amplio rango de frecuencias (ver figuras 112 a 119).

FIGURA 112

Ejemplo de la alimentaciones separadas con alimentación móvil y disposición de reflector selectivo para tres bandas de frecuencia en una antena de 12 m con guía de onda

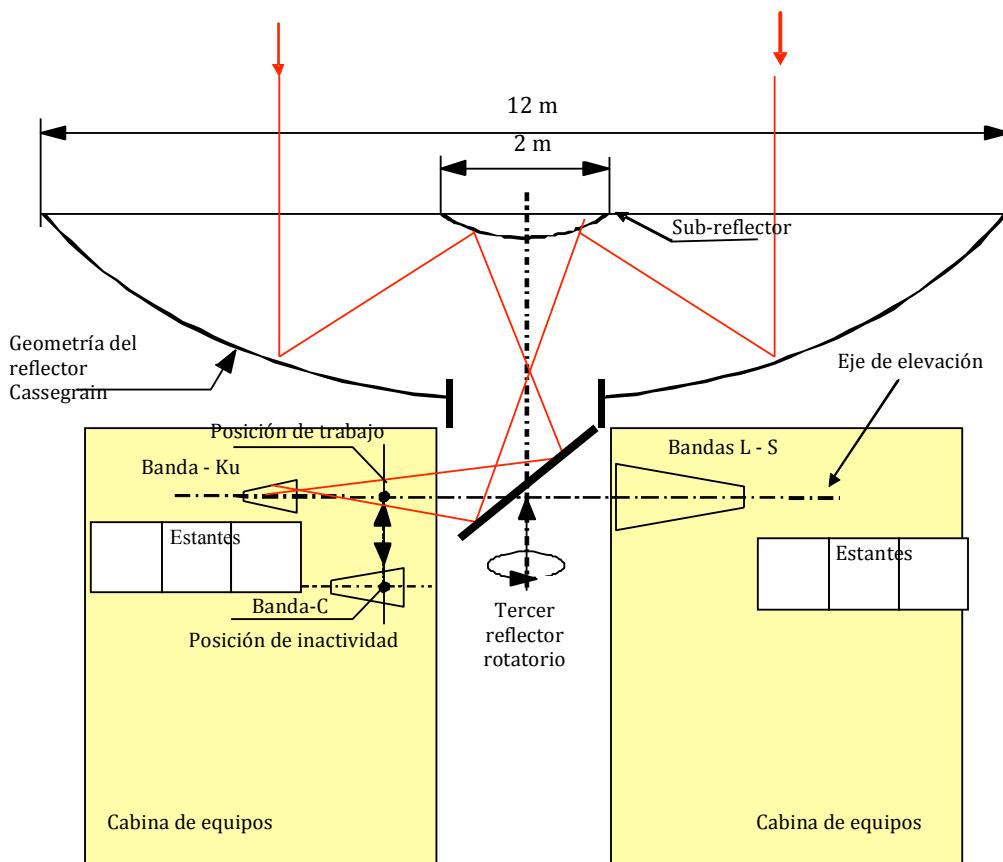


FIGURA 113

Ejemplo alimentación fija con reflectores selectivos móviles para seleccionar 5 bandas de frecuencia a una antena de 12 m

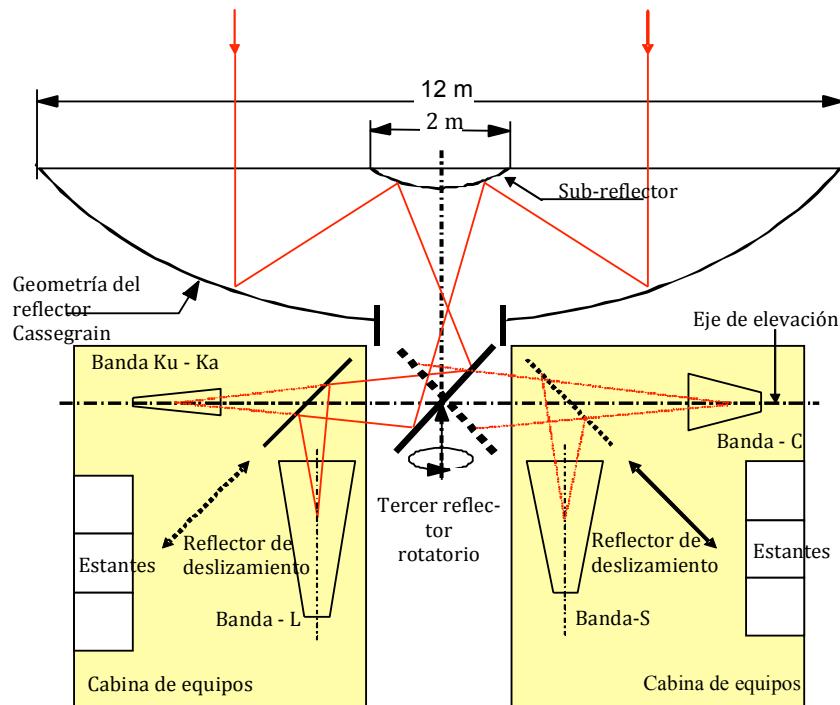
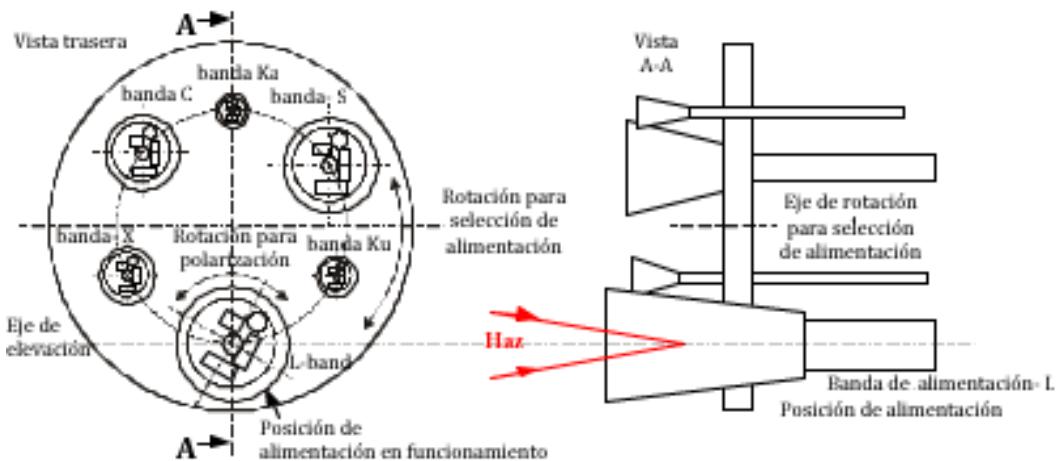


FIGURA 114

Ejemplo de sistema de alimentación múltiple tipo revólver con 6 alimentadores para una antena con guía de onda



Ejemplo: Sistema de alimentación múltiple tipo revólver con 8 alimentadores de una antena de foco primario.

Rango de frecuencias: 1-26,5 GHz sin vacíos de frecuencia.

Los alimentadores de 1 a 6 (rango de frecuencias de 1 a 12,75 GHz) son dipolos cruzados con diseño de cavidad.

Los alimentadores 7 y 8 (rango de frecuencias 12.5-26.5 GHz) son antenas de bocina.

Dimensiones de la caja exterior: alrededor de 700 mm × 700 mm × 500 mm [W×D×H].

FIGURA 115

Alimentación múltiple montada en foco primario



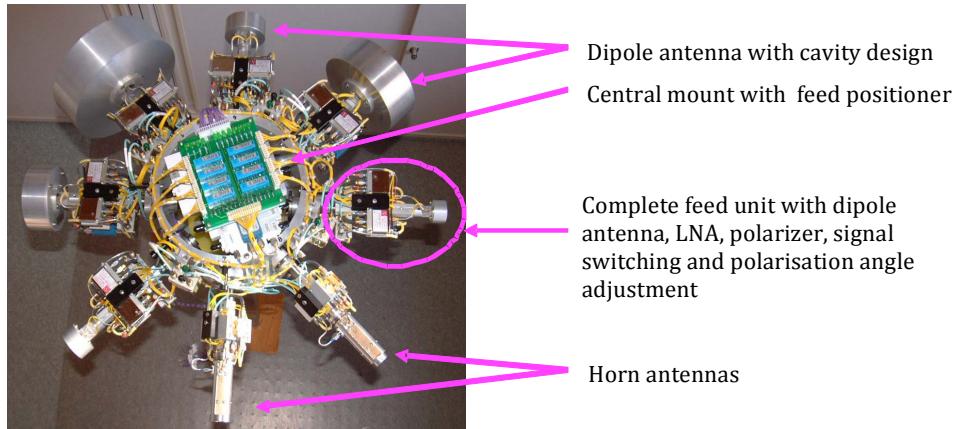
FIGURA 116

Alimentación múltiple en caja al aire libre



FIGURA 117

Alimentación sin caja al aire libre montada en torno a posicionador de alimentación



Todas los alimentadores están diseñados con técnica coaxial para polarización lineal y circular y ajuste del ángulo de polarización de $\pm 95^\circ$.

FIGURA 118

Ejemplo de una combinación de tres bandas de frecuencia en una antena de 12 m

Feed system for Cassegrain antenna configurations 11 m and larger. CP/LP switching, independent LP polarisation adjustment and monopulse tracking in both bands.

S-band:2.1-2.7 GHz

C-band:3.4-4.8 GHz

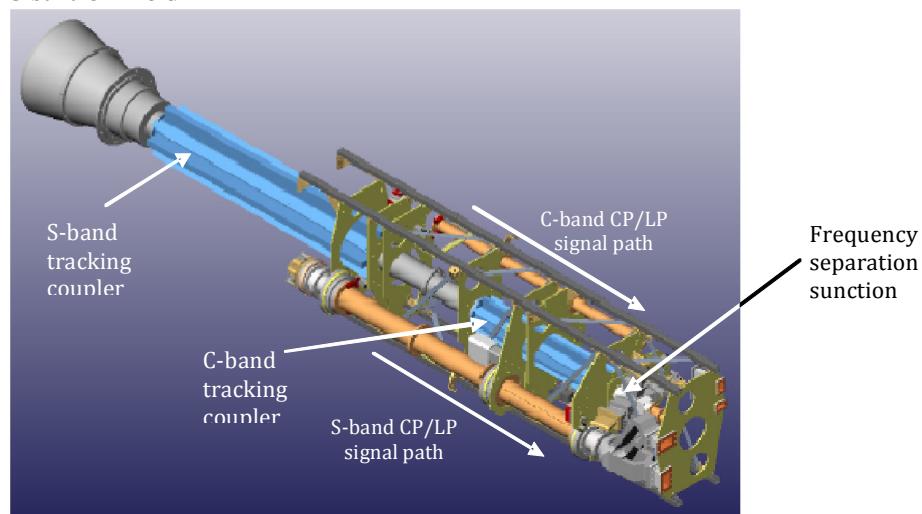


FIGURA 119

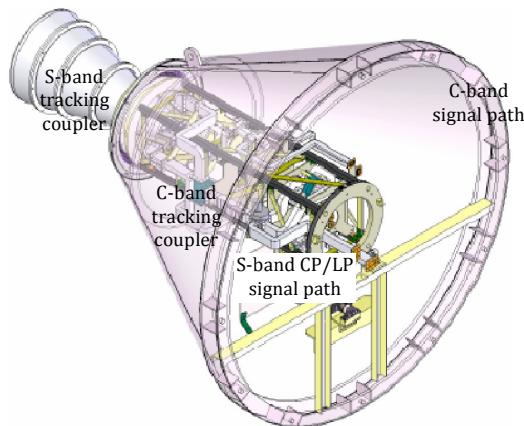
Ejemplo de alimentación con dos bandas de frecuencia muy próximas entre sí

Feed system for Cassegrain antenna configurations 9 m and larger.

C-band:3.4-4.2 GHz, CP/LP

X-band:7.25-8.4 GHz, CP

Ku-band:10.9-12.75 GHz, CP/LP



Equipo de recepción

El equipo de recepción consta de los elementos que se muestran en la siguiente tabla:

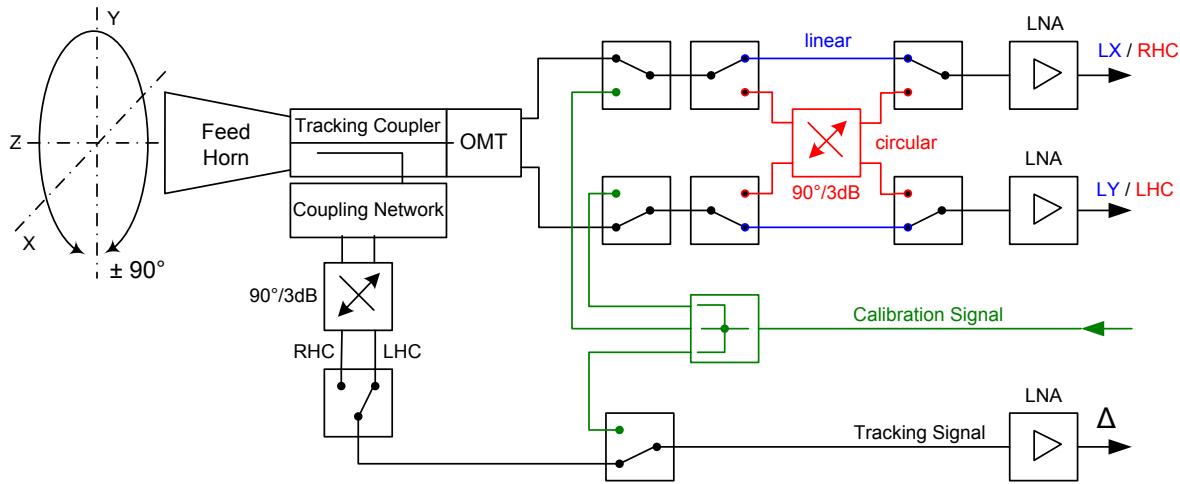
TABLA 31

Equipo de recepción de un sistema de antena

Alimentador	Cuerno-, dipolo- o dipolo cruzado, antena y la red de acoplamiento
Acoplador de seguimiento	Acoplamiento fuera del modo TE21 para seguimiento de la antena mono pulso
Ajuste de polarización	Rotatorio para el ajuste del ángulo de polarización
Transductor de modo Ortho (OMT)	Separación de los planos de polarización X y Y en dos canales
LNA	Primer amplificador con un factor de ruido lo más bajo posible
Polarizador	Combina los canales X y Y en RHCP y LHCP en el caso de polarización circular
Conversor de bajada	Convierte la señal de RF en una banda ancha IF y/o de banda estrecha a IF, por ejemplo, 70 MHz IF
Comutación y post amplificación	Conmuta las diferentes trayectorias de la señal y amplifica la IF para la transmisión a la instalación principal

Dependiendo del tipo de antena, estos componentes pueden estar espacialmente separados.

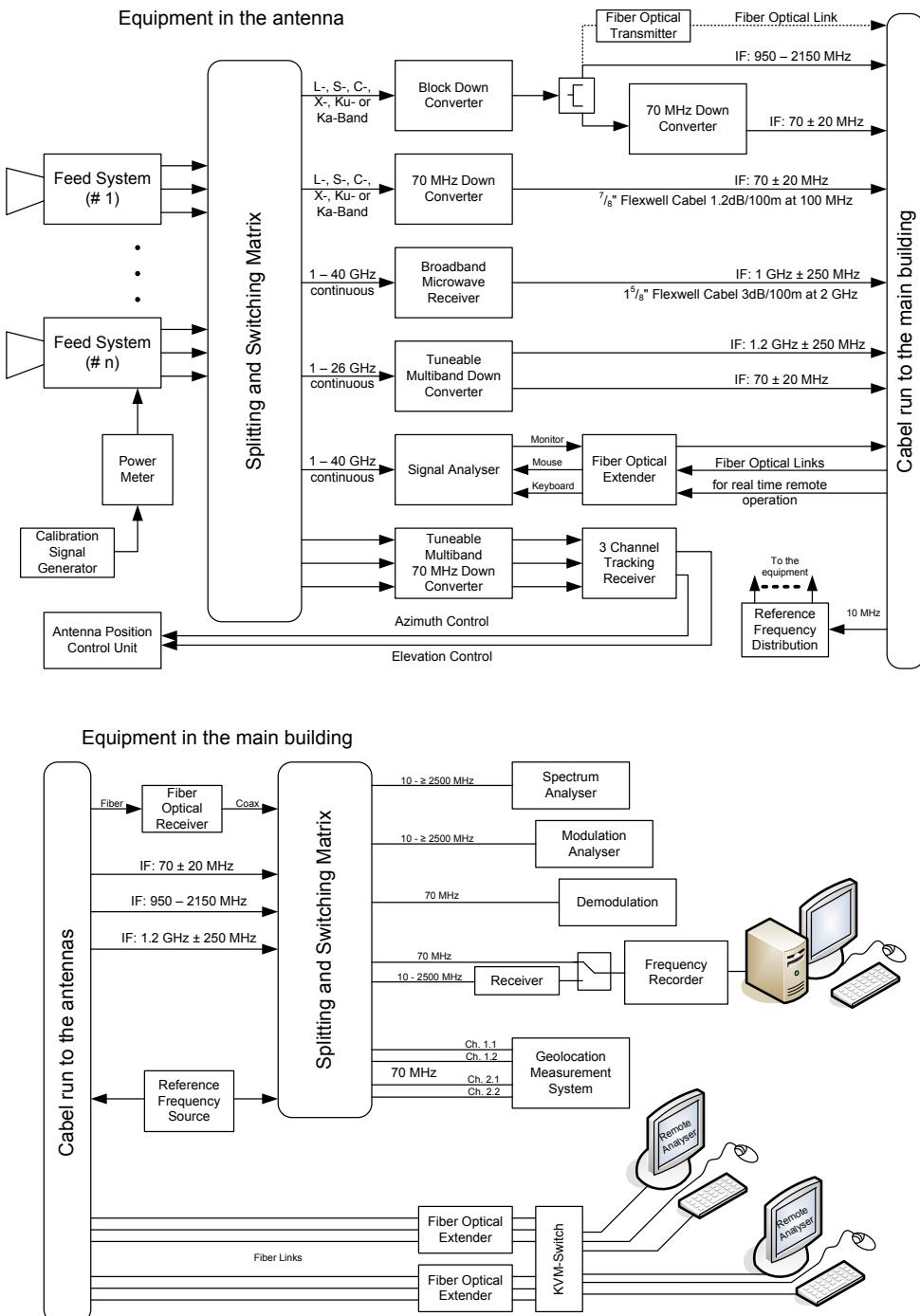
FIGURA 120
Ejemplo de un sistema de alimentación con acoplador de seguimiento y polarizador



3.3.11.6.1.3 Equipo de monitoreo

Los siguientes diagramas de la Figura 121 muestran ejemplos para la integración del equipo de monitoreo.

FIGURA 121
Integración del equipo de monitoreo

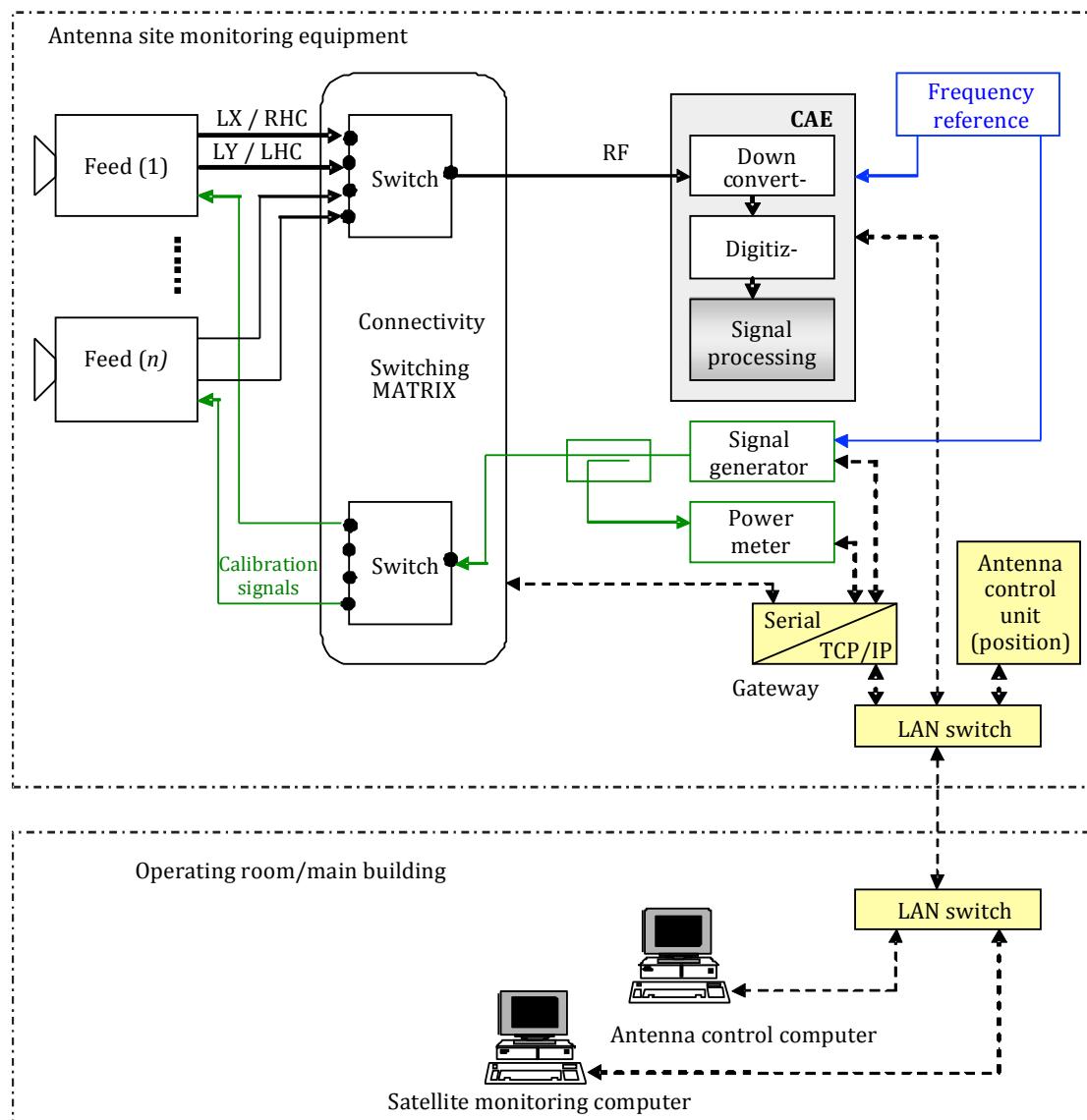


Sistema automatizado de monitoreo de satelital

La Figura 122 muestra un sistema de monitoreo automatizado para la adquisición de portadoras. La arquitectura del hardware del equipo de adquisición de portadoras (CAE), para monitoreo satelital, utiliza un sistema de calibración y puntos de inyección que también se muestran en la figura. El medidor de potencia controla la señal de calibración del generador de señal.

FIGURA 122

Ejemplo de un equipo de monitoreo de satélite automatizado



El CAE es capaz de:

- Adquirir bandas de frecuencias satelitales en L, S, C, Ku y Ka.
- Detectar todas las portadoras por encima del piso de ruido (típicamente 6 a 10 dB por encima del piso de ruido).
- Obtener los parámetros de RF para cada portadora.
- Proporcionar una clasificación completa de la portadora, incluyendo todos los parámetros digitales utilizados por el modulador y el estándar que se utiliza.

El CAE deberá ser capaz de analizar y clasificar las portadoras hasta el ancho de banda de 80 MHz, lo que cubre la mayor parte de los transpondedores civiles.

Cuando se conoce el tráfico satelital, el CAE detecta las portadoras no deseadas y, opcionalmente, localiza los transmisores utilizando métodos FDOA y TDOA.

Para el monitoreo satelital automatizado se deben llevar a cabo las siguientes mediciones:

- Mediciones de RF:
 - Potencia de la portadora a nivel del equipo.
 - E.I.R.P. de la portadora a nivel del satélite.
 - Relación C/N_0 .
 - Frecuencia portadora por centro de gravedad, recuperación, forma de la portadora, métodos de búsqueda de picos.
 - Ancho de banda de la portadora: método x dB, método $\beta\%$ de la potencia total, derivada del cálculo de la tasa de símbolo.
 - Observaciones del espectro y herramientas de análisis (marcadores, zoom, espektrograma, selectores).
 - E.I.R.P. del transpondedor a nivel del satélite.
- Mediciones digitales:
 - Caracterización de la portadora.
 - Tipo de modulación.
 - Tasa de bits (velocidad de transmisión).
 - Tasa FEC.
 - Tasa Reed Solomon.
 - Estándar utilizado.
 - Diagrama de demodulación de la portadora.
- Detección de la portadora con base en la detección de la densidad de potencia (normalmente de 6 a 10 dB por encima del piso de ruido):
 - Actualización posterior de la base de datos.

- Detección dentro de la portadora definida (la capacidad de rechazo de la portadora será superior a 13 dB).
- Observaciones del espectro, observaciones virtuales del espectro mediante la simulación de la G/T de los usuarios finales.
- Espectrogramas para visualizar intervalos de desplazamientos rápidos (por ejemplo, acceso MF TDMA).
- Los parámetros orbitales (precisión de la posición orbital de, por lo menos, $\pm 0,1^\circ$).
- La calibración debe utilizarse para determinar la ganancia de la cadena de recepción.

El sistema de software en el equipo de monitoreo satelital debe realizar mediciones interactivas y automáticas.

Las mediciones interactivas permiten al operador investigar señales rápidamente. Incluyen la observación de múltiples bandas en múltiples formatos, señales handoff para mediciones de portadoras y control del analizador de espectro y, opcionalmente, receptor, grabador, impresora y plotter.

Las mediciones automáticas deben activarse en caso de ocurrencia de eventos (ver *Nota 1*) o programadas en segundo plano, sin la presencia de un operador. Una programación de tareas permite coordinar la presencia de señales, mediciones de portadora, mediciones de ocupación del espectro y mediciones estadísticas.

Nota 1: Por ejemplo, la grabación automatizada de una señal y la grabación de la señal de referencia puede iniciar inmediatamente después de la detección de señales no deseadas. Esto allana el camino para el módulo de geolocalización.

La Figura 123 muestra un ejemplo de una captura de pantalla que muestra un monitoreo del espectro y el correspondiente espectrograma de información.

FIGURA 123

Ejemplo de una captura de pantalla de monitoreo del espectro en el equipo de seguimiento satelital



3.3.11.6.1.4 Instalaciones de control

Modos de funcionamiento de un sistema de control de antena

En el radio monitoreo espacial se requiere de un simple control eficiente de las antenas para su operación. Un gran número de diferentes modos de funcionamiento deben estar disponibles para permitir un apuntamiento eficiente de la antena hacia constelaciones satelitales difíciles. Las funciones de control de la antena más comunes se muestran en la Tabla 32.

TABLA 32

Modos de funcionamiento de un sistema de control de antena

Modos	Descripción	Comentario
VALORES PREDETERMINADOS	Movimiento de las posiciones predefinidas Entrada: los valores de Az y El	
PRECONFIGURACIONES GEO	Movimiento hacia la posición predefinida de entrada: la posición del satélite, por ejemplo, E19.2°	Ajuste la antena a una posición de la órbita de la GSO, sin cálculo de los valores Az y El
POSICIÓN	Movimiento en un ángulo definido por el usuario en torno a la posición real de la antena	Mover la antena en Az y El con cuatro botones de flecha o con bota- nes para el ajuste manual de la antena
TASA	Movimiento definido por el usuario a una veloci- dad constante	Sobre todo para las mediciones de calibración y prueba
SEGUIMIENTO	Seguimiento de un objeto a lo largo de una trayec- toria pre-definida con Az, El, datos y registros de datos de tiempo	
SEGUIMIENTO TLE	Seguimiento de un objeto a lo largo de una trayec- toria con los datos orbitales predefinidos TLE de NORAD	
SEGUIMIENTO ASTRAL	El seguimiento de los objetivos astronómicos	Opción para la calibración y medi- ciones de prueba
AUTOSEGUIMIENTO	Seguimiento de un objeto mediante el seguimien- to de las señales de error (mono pulso de segui- miento)	Necesita un acoplador mono pulso de seguimiento en el sistema de alimen- tación y un receptor de seguimiento mono pulso
SEGUIMIENTO DE PASOS	Seguimiento de un objeto utilizando un receptor de seguimiento paso a paso	Necesita un receptor de seguimiento de pasos, pero sin componentes adicionales en el sistema de alimen- tación
SEGUIMIENTO DE PREDICCIÓN ORBITAL	Seguimiento inteligente de pasos	Opción para mejorar la exactitud en el seguimiento de pasos
MEMORIA DE SEGUIMIENTO	Seguimiento usando los datos almacenados en la última posición del satélite	
ESCANEO DEL SECTOR	Sector definido por el usuario es escaneado hori- zontal/verticalmente	Útil para encontrar un satélite, por ejemplo, un satélite en alta inclina- ción
ESPIRAL DE BÚSQUEDA	Espiral pulsante alrededor de la última posición actual	Útil para encontrar un satélite, por ejemplo, un satélite en alta inclina- ción
GEOSYNC	Apunta a una órbita predefinida geosincrónica y al movimiento en el arco GSO	Movimiento manual con botones este/oeste a lo largo del arco GSO

Sistema de monitoreo y control

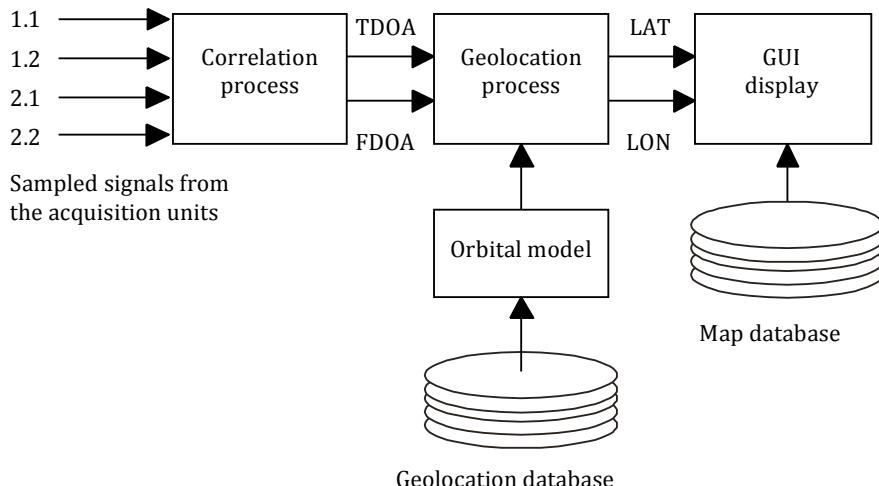
El sistema de monitoreo y control (M&C) es un sistema informático central para el control de todas las instalaciones de la estación de monitoreo. Una interfaz gráfica de usuario (GUI) representa una visión abstracta claramente dispuesta del equipo y estado de conmutación en la ubicación de cada operador. Para prevenir colisiones de acceso al equipo, el sistema debe tener un modo de asignación y bloqueo. Las unidades de medición pueden depender del sistema de M&C desarrollado y los requerimientos están completamente controlados o, únicamente en el caso de uso manual, están conectados en la trayectoria de la señal de M&C. Para permitir un flujo de trabajo eficiente se deben utilizar dos monitores para operar el posicionamiento de la antena y el dispositivo de control.

Los siguientes equipos son controlados e inspeccionados:

- Sistema de control de antena para funciones de apuntamiento y búsqueda.
- Sistema de seguimiento de antena mono pulso o receptores de rastreo de pasos.

FIGURA 124

*Procedimiento para el cálculo de geolocalización
en el computador host*



TDOA: diferencia de tiempo de arribo

FDOA: diferencia de frecuencia de arribo

LAT: latitud

LONG: longitud

GUI: interfaz gráfica de usuario

Nota:

Señales de 1.1 y 1.2 recibidas por la antena 1 del satélite interferido.

Señales de 2.1 y 2.2 recibidas por la antena 2 del satélite adyacente.

Señales de 1.1 y 2.1 son las señales de interferencia, 1.2 y 2.2 son las señales de referencia.

- Sistema de alimentación con commutación de polarización y ajuste del ángulo de polarización.
- Conversores de bajada, filtros y amplificadores posteriores.
- Todas las unidades de commutación para conexión y distribución de las señales de RF e IF.
- Conexión y configuración de las unidades de medición y análisis.
- Software para medición automática del lanzamiento.

3.3.11.6.2 Proceso de radio monitoreo de satélites GSO

A continuación se describe un sistema automatizado para el radio monitoreo de los satélites geoestacionarios. El sistema busca minimizar el número de operadores en la tarea de medición de la órbita y la calidad de la onda de radio, mediante el uso de diversas técnicas.

El sistema de monitoreo automático está equipado con un programa informático que tiene las siguientes funciones:

- Control, para establecer la prioridad de la operación.
- Registro, para programar mediciones individuales.
- Detección de errores del software del sistema con una función de reporte para los operadores.
- Búsqueda y medición
- Calibración del sistema e inspección, para comprobar si la instalación de monitoreo funciona correctamente.
- Notificación de los resultados de medición a los operadores.
- Almacenamiento de los satélites registrados y de los resultados de medición en la base de datos.

Los operadores de la estación de radio monitoreo espacial deben preparar el cronograma para que las tareas de monitoreo se realicen rutinariamente de acuerdo con el plan de monitoreo.

Para la detección de fuentes de interferencia perjudicial, el monitoreo de nuevos satélites y la medición detallada de la ocupación del espectro de frecuencias, pueden utilizarse simultáneamente modos semiautomáticos y manuales.

Los elementos especificados en el programa de monitoreo incluyen elementos tales como el monitoreo del tiempo, selección del modo automático o semiautomático, nombre del satélite, número de veces que se realiza el monitoreo, prioridades de tareas, etc. La Figura 125 muestra un ejemplo del proceso de monitoreo secuencial.

FIGURA 125
Proceso secuencial de monitoreo

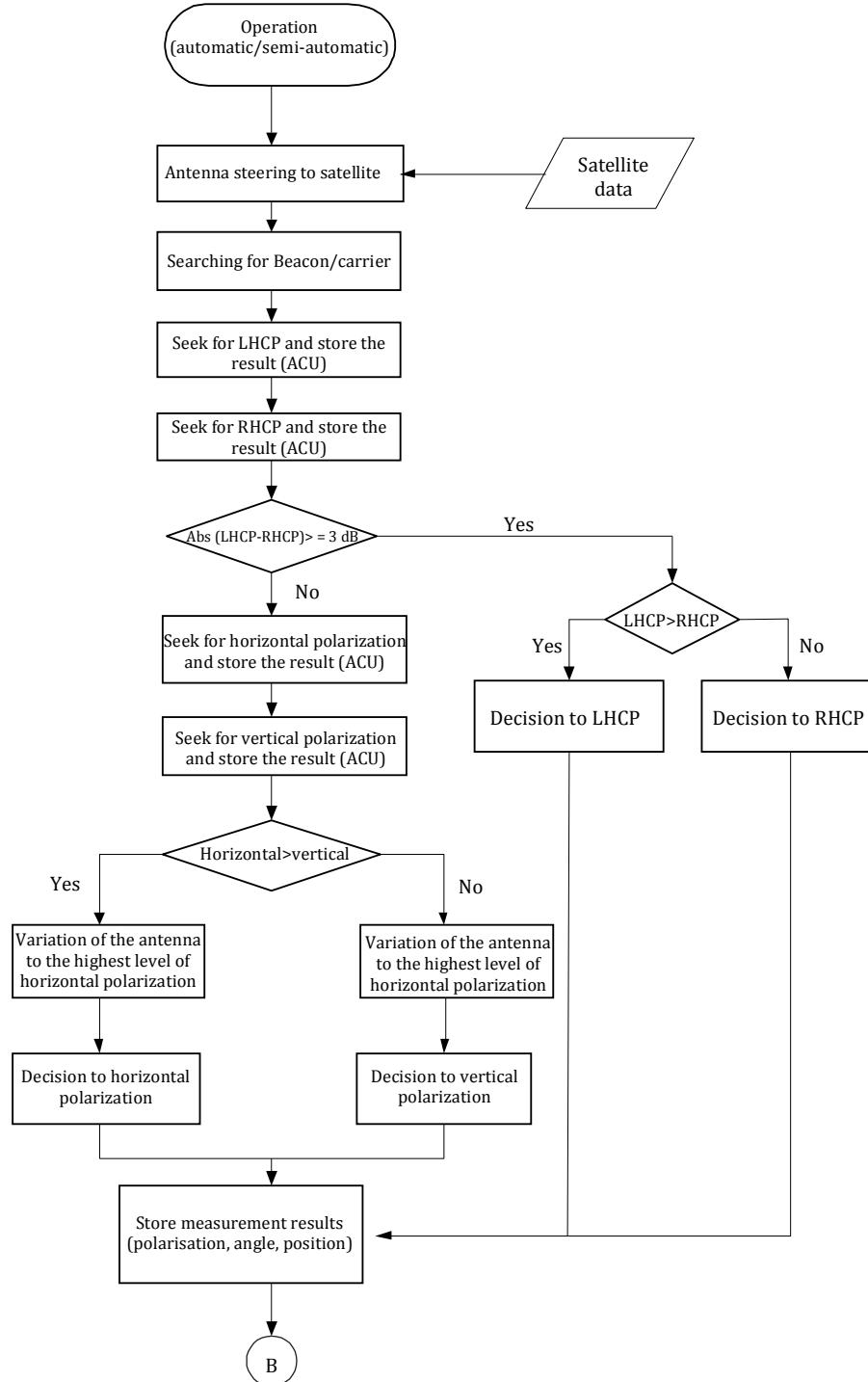
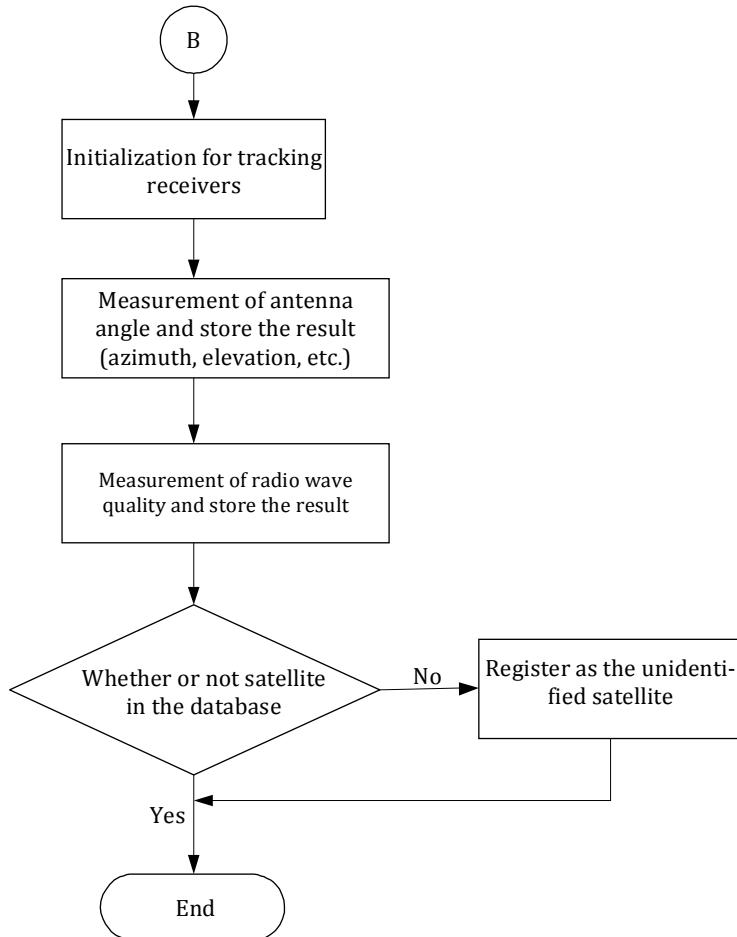


FIGURA 125
Proceso secuencial de monitoreo (continuación)



Elementos de medición del proceso de programación incluyen la posición orbital del satélite, la polarización, la frecuencia central, PFD, ancho de banda ocupado, etc. Es importante para las instalaciones de radio monitoreo espacial, incluir técnicas de seguimiento rápido, elección de la polarización a través de algoritmos de comparación, localización de frecuencias centrales para medir el ancho de banda ocupado y la medición de potencia de la portadora.

La polarización se determina mediante la verificación repetida de las mediciones que ingresan, contra los criterios de polarización.

Por lo general, es preferible el método de seguimiento mono pulso, pero también se utilizan otros métodos, como el seguimiento paso a paso.

La identificación del satélite se verifica mediante la comparación de los resultados de la medición con la base de datos de satélites.

La repetición de las mediciones y las correcciones son necesarias para mejorar la precisión y fiabilidad de los resultados de medición.

Las tareas de medición se deben realizar con una alta fiabilidad, teniendo en cuenta las características de propagación en frecuencias altas y la señal débil recibida en tierra. Las estaciones de monitoreo deben verificar si el satélite es operado siguiendo las normas técnicas y regulaciones apropiadas.

Además, los operadores deben registrar o renovar el cronograma de operaciones para cualquier nueva solicitud de monitoreo y tareas especiales. El almacenamiento de los procedimientos estándar que se llevan cabo con regularidad, simplifica el proceso de registro.

3.3.11.7 RESULTADOS DE MONITOREO CON EJEMPLOS

3.3.11.7.1 Registro de la banda de frecuencias en la banda VHF

Los sistemas de registro del espectro de radiofrecuencia son particularmente apropiados para el monitoreo de la ocupación de las bandas de frecuencias, por parte de emisiones de estaciones espaciales en órbita baja, en las bandas de frecuencias por debajo de 1000 MHz, con una antena omnidireccional.

La estructura del patrón de ocupación (curva Doppler) depende de los elementos orbitales del satélite y de la calidad de su huella. Además de la frecuencia de recepción, el periodo de revolución (*PERIODO_{primo}*), tomado como el promedio de varias revoluciones consecutivas, y los tiempos de espera para la recepción pueden ser diferentes. Con el fin de determinar el periodo de revolución con un grado satisfactorio de precisión (el *PERIODO_{defina}*), se recomienda un método iterativo de registro para los registros tomados durante un periodo de varios días, con base en las siguientes ecuaciones:

$$\text{PERIODO}_{\text{primo}} = T_2 - T_1 \quad (28)$$

$$\text{PERIODO}_{\text{defina}} = (T_x - T_1)/n \quad (29)$$

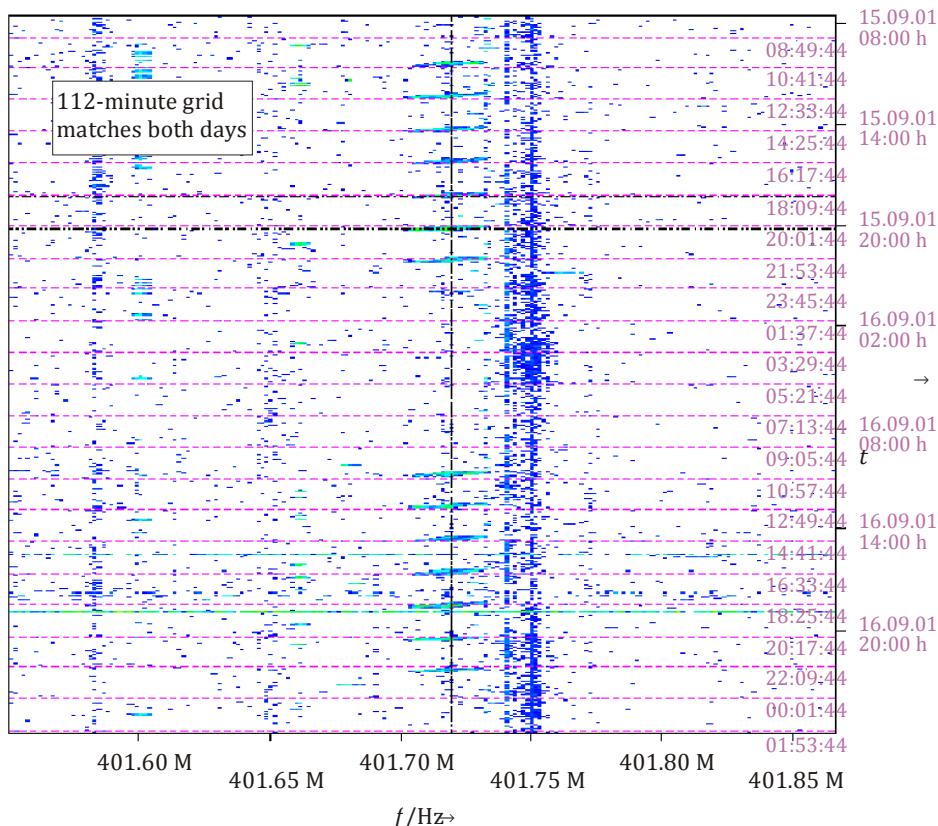
T_x es el punto central de la ventana de recepción de un día o varios días después. El divisor, n , es un número ficticio de revoluciones en el caso de la ecuación (39), que es sistemáticamente alterado hasta lograr la divergencia mínima entre el resultado deseado para el *PERIODO_{defina}* y el *PERIODO_{primo}*. De esta manera, el error de medición del tiempo de revolución puede ser reducido después de un periodo de solo 24 horas a algunas décimas de minuto. El tiempo de revolución y las características del patrón de registro son fiables para la identificación de un satélite.

Otro método es el uso de una cuadrícula con una línea de tiempo ajustable superpuesta en el espectrograma de las emisiones satelitales, registrada durante un periodo de dos o más días. Si las líneas de tiempo coinciden con las emisiones satelitales se obtiene el PERIODO _{primo}. En el ejemplo que se muestra en la Figura 126, PERIODO _{primo} = 112 min.

Para encontrar el periodo de tiempo exacto se requiere buscar en la base de datos de la NASA[40], como segundo paso.

FIGURA 126

*Registro de ocupación de frecuencia, determinación
aproximada del tiempo de revolución*



Con el resultado de 112 min se pueden buscar los satélites con un periodo de revolución de cerca de 112 min. La Figura 127 ilustra la base de datos de la NASA-SSR, donde se marcan los satélites en periodos de aproximadamente 112 min. Con los elementos de dos líneas relacionados se debe calcular el tiempo de visibilidad para estos satélites, con el fin de ubicar la estación de monitoreo. El sistema de registro de frecuencia puede mostrar estas ventanas de visibilidad como una superposición en el espectrograma de la emisión satelital recibida.

FIGURA 127

Búsqueda en la base de datos de la NASA-SSR

INT-ID	CAT	SRC	PERIOD	INCL	APOG.	PERIG.	RCS	NAME	DATE
1990-074F	21033 CIS		113,7	82,6	1410	1386	2,2032	COSMOS 2119	22.12.90
1989-074B	20233 CIS		113,7	82,6	1410	1386	1,7514	COSMOS 2039	14.09.89
1988-002F	18793 CIS		113,7	82,6	1411	1384	1,9042	COSMOS 1914	15.01.88
1987-074A	18334 CIS		113,7	82,6	1409	1387	2,1058	COSMOS 1875	07.09.87
1987-026B	17583 CIS		113,7	82,6	1411	1385	2,2787	COSMOS 1828	13.03.87
1985-003C	15471 CIS		113,7	82,6	1413	1383	1,3662	COSMOS 1619	15.01.85
1992-052A	22076 US		112,4	66	1344	1332	10,6361	TOPEX/POSEIDON	10.08.92
1990-013C	20480 JPN		112,2	99,1	1744	912	0,3319	JAS 1B (FUJI 2)	07.02.90
1990-013B	20479 JPN		112,2	99,1	1743	912	0,4893	DEBUT (ORIZURU)	07.02.90
1992-052C	22078 FR		111,9	66,1	1325	1305	0,4416	S80/T	10.08.92
1992-052B	22077 KOR		111,9	66,1	1325	1307	0,2912	OSCAR 23 (KITSAT 1)	10.08.92
1994-046A	23191 US		110,6	70	2156	355	3,8606	APEX	03.08.94
2000-075C	26621 SWED		110,5	95,4	1799	701	0,1528	MUNIN	21.11.00
1989-086A	20305 CIS		110,4	82,6	1251	1238	11,6301	METEOR 3-3	24.10.89
1995-059B	23711 US		109,7	100,5	1493	934	13,2016	SURFSAT	04.11.95
1994-003B	22970 GER		109,4	82,6	1208	1185	7,6481	TUBSAT B	25.01.94
1994-003A	22969 CIS		109,4	82,6	1208	1186	41,1628	METEOR 3-6	25.01.94
1991-030A	21232 CIS		109,4	82,6	1208	1188	9,5992	METEOR 3-4	24.04.91
1991-056A	21655 CIS		109,3	82,6	1206	1187	7,8738	METEOR 3-5	15.08.91
1988-064A	19336 CIS		109,3	82,5	1208	1184	8,0195	METEOR 3-2	26.07.88
1995-100A	16101 CIS		109,3	82,6	1211	1100	0,4416	METEOR 3-1	24.10.95

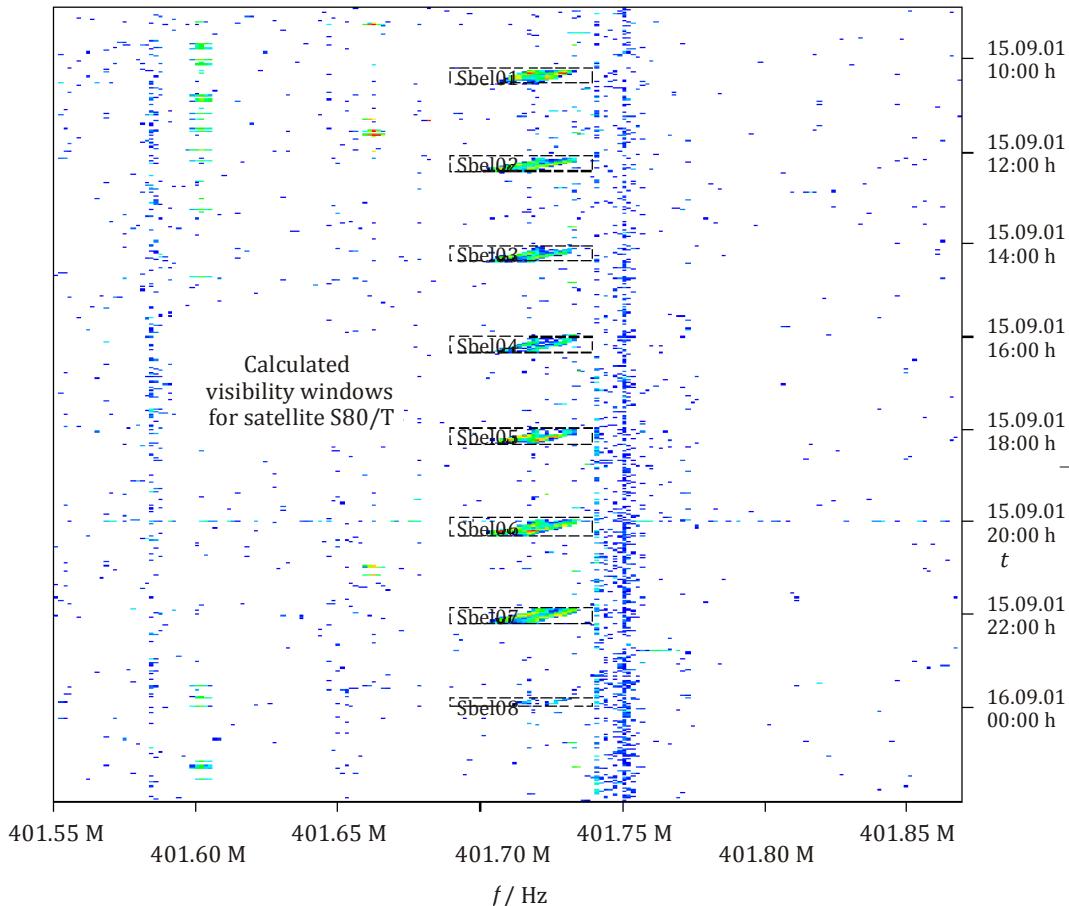
Si las ventanas de visibilidad coinciden con todos los registros de las emisiones satelitales, se identifica el satélite. La Figura 128 ilustra las ventanas de visibilidad para el satélite S80/T con un periodo de revolución de 111,9 min. Una vez se conocen los datos de la órbita, se puede hacer seguimiento al satélite utilizando una antena omnidireccional, para mediciones posteriores.

3.3.11.7.2 Cálculo de elementos orbitales a partir de mediciones del ángulo de la antena

La identificación de un satélite es más fácil, y en algunos casos solo es posible, mediante el uso de elementos orbitales calculados a partir de mediciones de ángulos de la antena. La respuesta a la pregunta de si se puede obtener una determinación suficientemente precisa, depende en gran medida de la precisión de la medición del ángulo de la antena y la longitud y tipo de arco de la órbita rastreada. El siguiente ejemplo permite extraer conclusiones específicas con respecto a la precisión de cálculo realizable, pero que no pueden considerarse como de aplicación universal. El ejemplo se basa en una comparación entre los datos de efemérides de la estación espacial NOAA10, publicados con un buen grado de precisión y, por lo tanto, utilizados como información de referencia, con los datos de efemérides obtenidos de las mediciones del ángulo de la antena; y comparando los tiempos de visibilidad y el azimut y elevación calculados con base en ambos conjuntos de datos de efemérides para una trayectoria, aproximadamente 24 horas más tarde.

FIGURA 128

Ventanas de visibilidad en el registro de ocupación de frecuencias



La precisión en la medición del ángulo de la antena tipo reflector parabólico de 12 m disponible, utilizando la técnica mono pulso es de aproximadamente 0.12° en la banda de frecuencias de 1.700 MHz utilizada (véase la sección 3.3.11.3.5). El ángulo de elevación máximo de la órbita bajo seguimiento por encima del plano horizontal fue de aproximadamente 60° .

Tres conjuntos de datos de la medición de ángulos de la antena (azimut/elevación/tiempo) se utilizan para la estimación matemática inicial de la órbita, seguida por el cálculo de los elementos orbitales. Con el fin de mejorar los resultados, se realiza entonces el cálculo paramétrico, con el objetivo de obtener una solución que esté lo más cerca posible a los valores de medición del ángulo de la antena de la serie de mediciones.

La Tabla 33 y la Figura 129 muestran los resultados de estas comparaciones. Cuando se utilizan como una ayuda de identificación, los elementos en la Tabla 33 pueden facilitar

considerablemente la identificación de un satélite. Sin embargo, cuando los datos de efemérides en su conjunto se utilizan para la predeterminación del azimut y la elevación en función del tiempo, se observa un incremento en las desviaciones con intervalos de tiempo. Esto se debe a las limitaciones en la precisión al momento de calcular los elementos orbitales a partir de las mediciones del ángulo de una sola trayectoria satelital. Sin embargo, el satélite corrige notablemente su desplazamiento en las trayectorias siguientes. En la Figura 129 se presenta la divergencia de azimut y elevación para una trayectoria del satélite, 24 horas más tarde (después de 14 vueltas) y con base en la determinación de la órbita inicial. Las curvas calculadas se desplazan por -1 min para compensar el retraso.

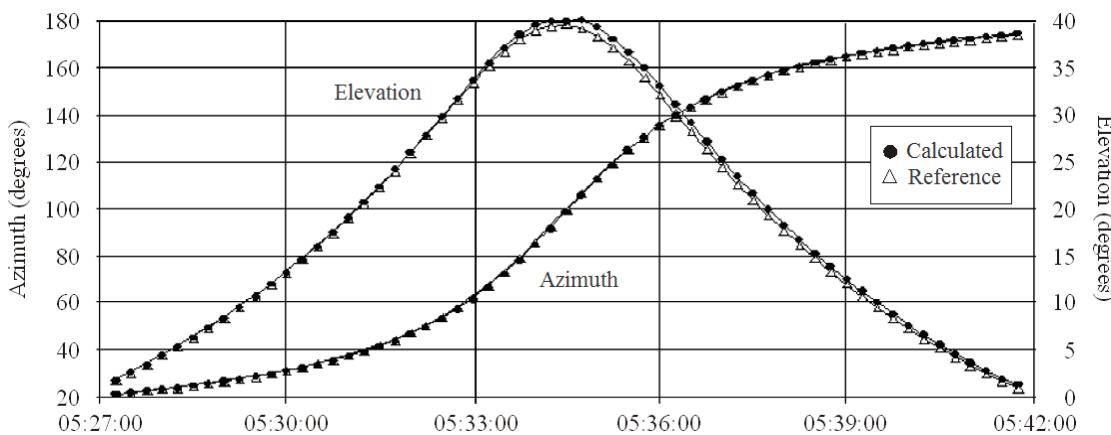
TABLA 33

Comparación entre los elementos orbitales de referencia y los elementos orbitales calculados (determinación de la órbita inicial)

Elementos orbitales NOAA10	Elementos de referencia	Elementos calculados
Perigeo (km)	807	808
Apogeo (km)	825	830
Semieje mayor (km)	7.187	7.190
Excentricidad	0.0012156	0.0015
Inclinación (grados)	98.5121	98.78
Tiempo de revolución (min)	100.781	100.85

FIGURA 129

Comparación entre los ángulos de la antena calculada a partir de elementos de referencia orbital y los elementos orbitales medidos



3.3.11.7.3 Mediciones de ocupación del transpondedor

La Figura 130 muestra el resultado obtenido en la medición de la ocupación del transpondedor con un sistema de registro de frecuencia. El espectrograma muestra la ocupación del transpondedor del satélite con una sección no utilizada del transpondedor en el centro de la banda de frecuencias visualizada y una señal interferente de alta potencia que aparece temporalmente.

La interferencia cruza todo el transpondedor de arriba a abajo. La señal, recibida con una antena direccional, está conectada al grabador de frecuencias en el rango de IF. La señal es digitalizada y representada en línea, utilizando una FFT en forma de un espectrograma en el grabador de frecuencias. Los espectros se almacenan permanentemente en el disco duro y están disponibles para el procesamiento posterior fuera de línea. Los diferentes colores representan el nivel de potencia en el espectrograma. El nivel de potencia desplegado se puede ajustar mediante la configuración de la gama de colores. El espectrograma puede ser cambiado en el rango de frecuencias y en el intervalo de tiempo registrado mediante un acercamiento de la imagen, de tal forma que un periodo corto de observación pueda ser representado en gran detalle o alejando la imagen para un periodo de observación largo, que permita una vista general. La posición del marcador de frecuencia y la línea del marcador del tiempo se encuentran a la derecha y en la parte posterior del espectrograma visualizado del espectro correspondiente.

3.3.11.7.4 Inclinación de satélites GSO

El tramo de la Figura 131 se obtuvo mediante la observación de la posición de un satélite GSO en intervalos de 30 minutos, utilizando una antena parabólica de 12 metros con un ancho de haz de media potencia de 0.15° . Con base en un procedimiento de seguimiento mono pulso los datos de apuntamiento de la antena se adquieren automáticamente localizando, inicialmente, el satélite en forma manual. La posición de los satélites se registra en un periodo de 24 h, y los resultados se calculan para producir la figura de "8". La información obtenida muestra la excusión del satélite desde su posición orbital nominal y proporciona una referencia para futuras observaciones.

FIGURA 130

Medidas de ocupación del transpondedor

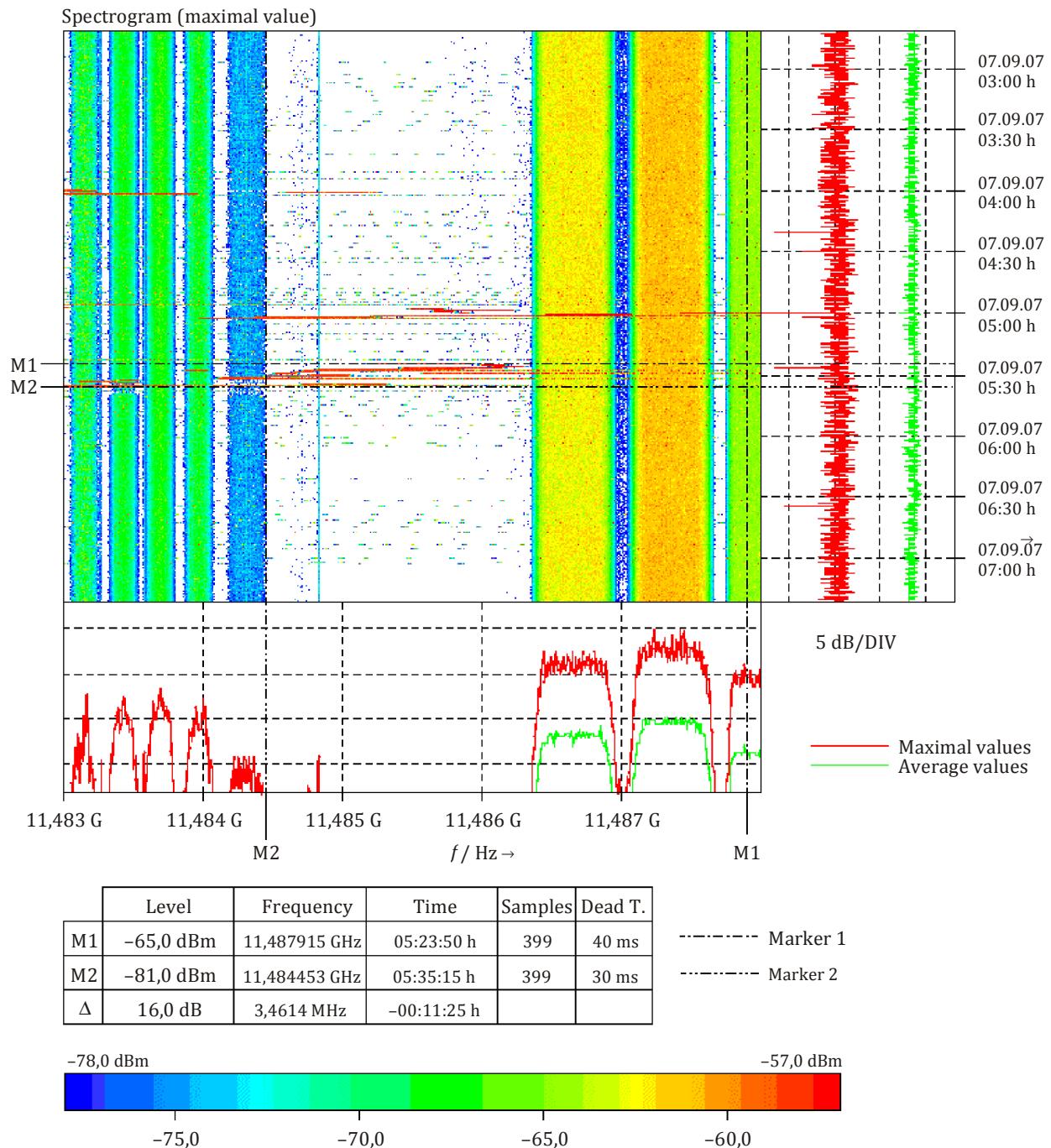
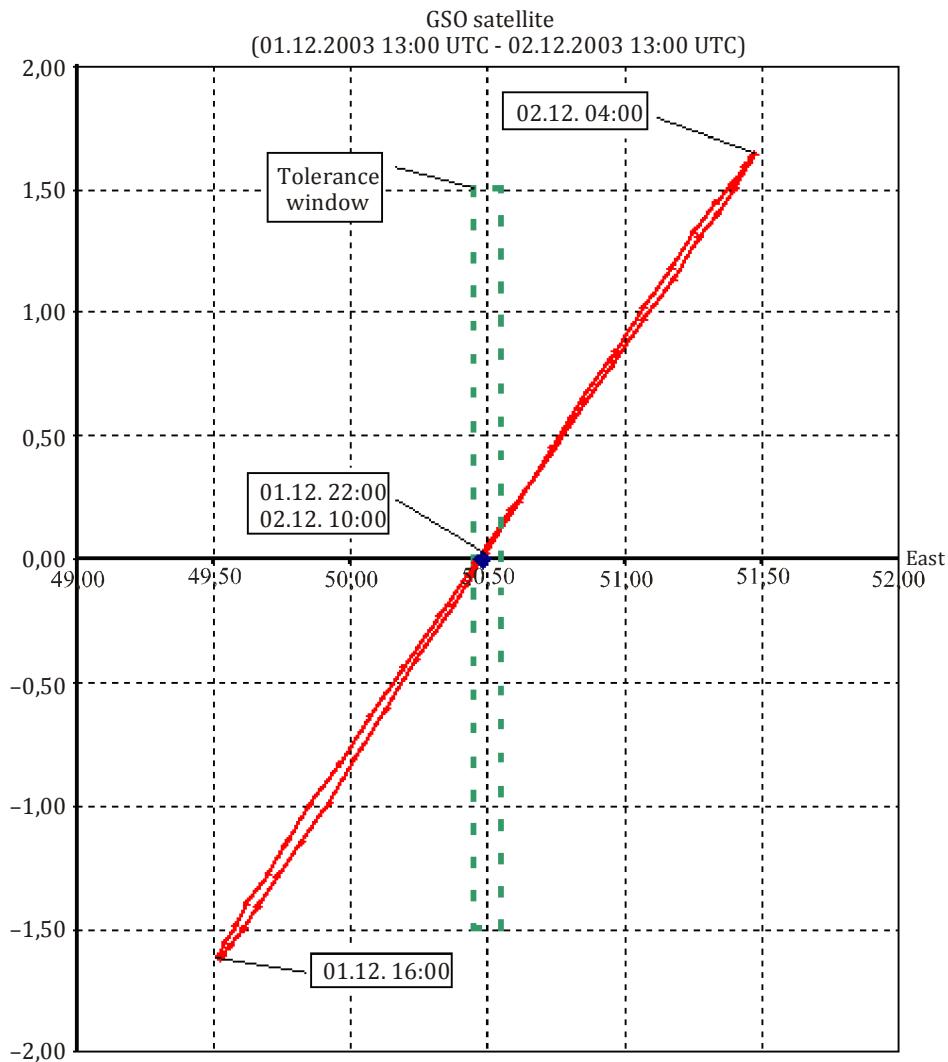


FIGURA 131

Inclinación de los satélites geoestacionarios (Figura de “8”)



3.3.11.7.5 Resultado y presentación de una medición de geolocalización

La Figura 132 se obtiene a partir de una medición de geolocalización de TDOA y FDOA de una estación terrena de enlace ascendente desconocida. El resultado se presenta generalmente en forma de un área elíptica, que puede ser superpuesta en un mapa digital para una mejor comprensión. La forma y orientación de la elipse pueden variar significativamente debido a la cantidad de mediciones realizadas, el tiempo del día de medición, el

tipo de modulación de la señal bajo prueba, la correlación S/N, etc. Los factores necesarios para definir la elipse incluyen:

- Longitud del semieje mayor.
- Ángulo del semieje mayor (o semieje menor) con respecto a una dirección de referencia.
- Coordinación del centro.
- Nivel de confianza.

El resultado de la elipse de geolocalización correspondiente a la Figura 132 se encuentra en la Tabla 34.

FIGURA 132

Resultados de geolocalización de una estación terrena transmitiendo a un satélite GSO (1)

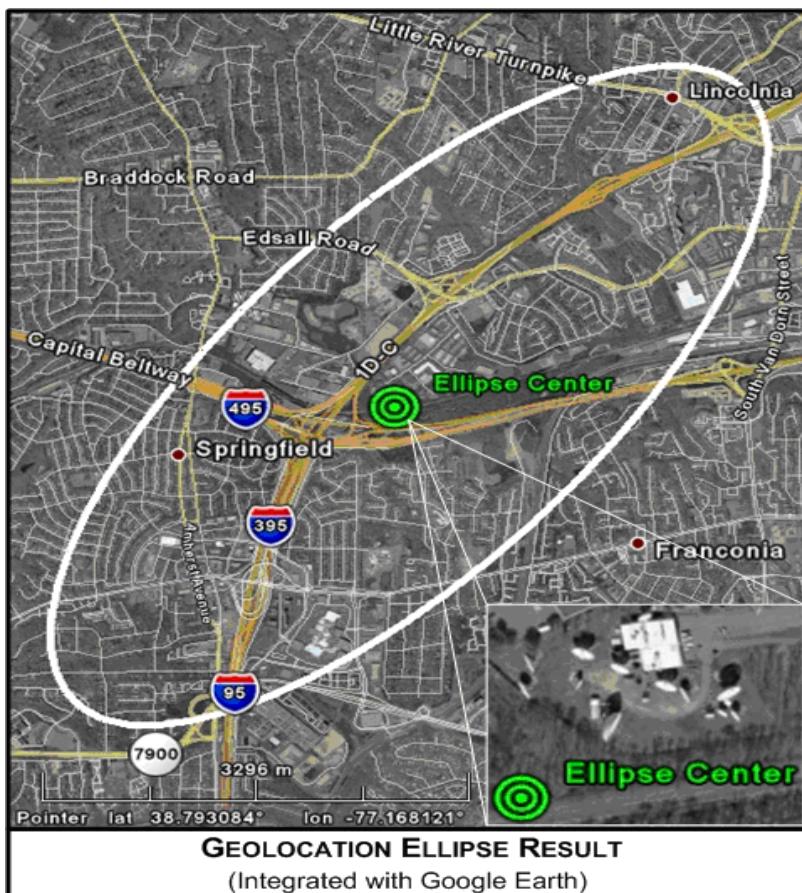


TABLA 34

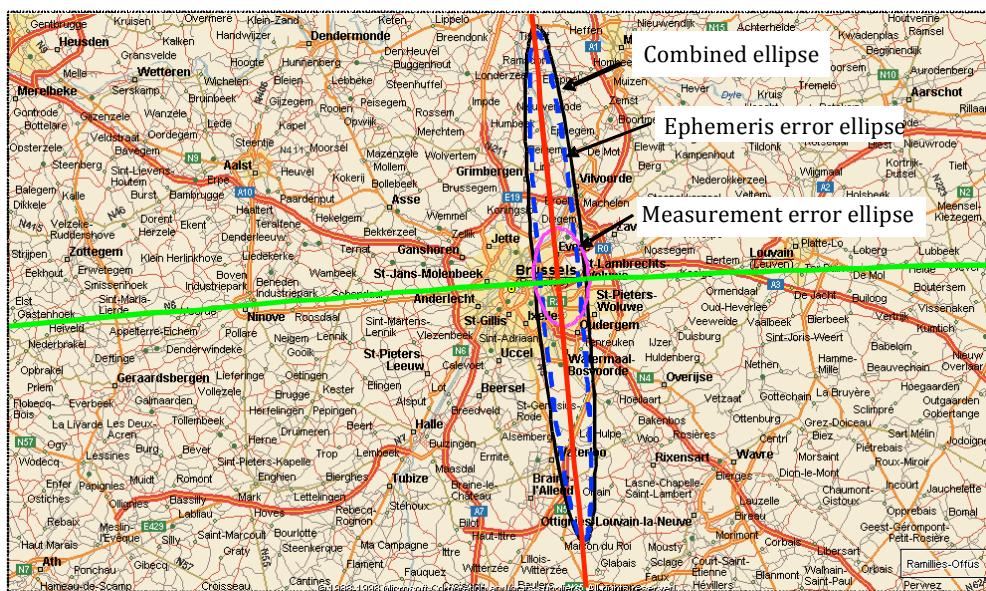
Resultado de geolocalización de elipse correspondiente a la Figura 132

Latitud (grados)	N 38.793
Longitud (grados)	W 77,168
Semieje mayor (km)	8.679
Semieje menor (km)	3.338
Ángulo (grados)	M14x1.5
Nivel de confianza	95

La Figura 133 muestra la representación en un mapa de una medición de geolocalización con la elipse de error. La elipse enorme para el error de efemérides muestra errores en la posición y velocidad de un satélite. En este caso, debe llevarse a cabo una medición de compensación del error de efemérides.

FIGURA 133

Resultados de geolocalización de una estación terrena transmitiendo a un satélite GSO (2)



3.3.12 Análisis del uso libre del espectro radioeléctrico por ejemplo, dispositivos de corto alcance (SRD)

3.3.12.1 INTRODUCCIÓN

La industria solicita más frecuencias de uso libre bajo el argumento de que las bandas de frecuencias disponibles no son suficientes y, a veces, incluso se congestionan. Una opinión equilibrada desde el punto de vista de la gestión de frecuencias, solo se puede obtener con base en información objetiva, incluyendo información sobre el monitoreo del espectro radioeléctrico. De igual manera, muchas bandas no ISM utilizadas por los diferentes servicios son actualmente ocupadas por SRD que comparten estas frecuencias, sobre la base de no protección y no interferencia. En este apartado no se proporciona una descripción de sistemas UWB o mediciones relacionadas con UWB. Los valores típicos proporcionados en esta sección se basan en el ejemplo de una campaña de monitoreo de 863-870 MHz. Para otras bandas de frecuencias y los SRD en esas bandas, pueden ser más apropiados otros valores, sin cambiar las bases en la metodología de medición.

3.3.12.1.1 ¿Por qué monitorear los SRD?

Debido a que los SRD están entrando en un mercado que no limita el uso a un solo país, la UIT debe considerar, también, el desarrollo o adaptación de métodos de monitoreo para los SRD. Ejemplos de estos dispositivos incluyen LAN inalámbricas a bordo de aeronaves, SRD para monitorear las condiciones técnicas de las partes de las aeronaves, teléfonos celulares con SRD integrados, como lectores inductivos y micro transmisores de FM e implantes médicos, todos ellos pidiendo un segmento global armonizado de frecuencias para SRD.

3.3.12.1.2 ¿En qué se diferencia el monitoreo de los SRD del monitoreo normal?

El monitoreo de los SRD tiene algunas diferencias con respecto al monitoreo convencional del espectro radioeléctrico. No solo la ocupación es de interés, sino también la efectividad de los protocolos de cortesía necesita investigarse. Esto último es algo que se obtiene mediante el procesamiento de los datos de monitoreo. En la mayoría de los casos solo se requiere información de la ocupación, ya que la normalización se encarga de la correcta implementación de la calidad de los protocolos. Realizar pruebas y compararlas con una norma es más que suficiente en muchos casos.

3.3.12.1.3 Relación entre el monitoreo de SRD y otras operaciones de monitoreo

El organismo gestor puede llevar a cabo el monitoreo del ruido, monitoreo de los SRD y monitoreo convencional. Todos estos métodos tienen sus características específicas, pero, especialmente en el caso del monitoreo de SRD, están estrechamente relacionados.

TABLA 35

Relación entre las tareas de monitoreo y el monitoreo de los SRD

Tarea de monitoreo	Resultado esperado	Geografía	Método
Ruido <30 MHz	Efectos del ruido de aplicaciones PLT, EMC y aplicaciones inductivas de SRD	Local en un número escaso de sitios específicos Global en una zona tranquila de recepción para evaluar los efectos acumulativos recibidos por la propagación ionosférica	De acuerdo con Rec. UIT-R SM.1753-2 [41] Después de la correlación entre los sitios locales y globales
Ruido > 30 MHz	Efectos del ruido de UWB, emisiones acumuladas de SRD, radiación espuria de los SRD y aplicaciones (servicios) no SRD	Local en un gran número de distintos tipos de sitios	De acuerdo con Rec. UIT-R SM.1753-2 [41]
SRD control	Ocupación de bandas SRD asignadas/compartidas	Local en un gran número de diferentes tipos de puntos calientes. Para cada banda de frecuencia específica múltiples puntos de medición	Según las directrices de este informe
Monitoreo tradicional	Ocupación/cobertura de frecuencias y bandas de frecuencias atribuidas a servicios Efectos espurios y otros no deseados y propiedades técnicas de sistemas individuales/transmisores También apropiada para sistemas relativos a los SRD como lectores RFID	Fija Móvil En ruta	Monitoreo fijo (remoto)/mediciones Monitoreo móvil/mediciones Análisis de señales Monitoreo de mediciones en ruta

3.3.12.2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS A CONSIDERAR AL MONITOREAR LOS SRD

Los SRD son en la mayoría de los casos, pero no siempre, transmisores de baja potencia para uso en interiores, con un ciclo de trabajo bajo y una baja probabilidad de inter-

cepción por parte de las configuraciones comunes de monitoreo. Con base en la experiencia, se sugiere no utilizar estaciones de monitoreo fijas o fijas controladas remotamente, ya que casi siempre están muy lejos de los llamados "hotspots" de los SRD. En su lugar, se recomienda utilizar una configuración móvil o semimóvil en los lugares donde la interceptación de estos dispositivos es más probable. Las definiciones comunes de los lugares y sus descripciones, como las zonas rurales, semirurales, industriales, etc., no son apropiadas en este caso.

3.3.12.2.1 Ubicaciones

Los lugares podrían basarse en los dispositivos previstos en las bandas de frecuencias que se encuentran en los planes de frecuencias aplicables. La Tabla 36 es un ejemplo, más no es exhaustiva, y debe ser modificada en función de la situación nacional.

TABLA 36

Resumen de tipo de SRD y su posible ubicación

Tipo	Hotspot SRD o área caliente
RFID	Centros de distribución, centros comerciales, aeropuertos
Sistemas de alarma social	Hospitales, residencias para personas mayores
Alarms	Áreas industriales con oficinas
Medición y monitoreo	Por ejemplo, semáforos controlados remotamente y parqueaderos, en el centro de las ciudades
SRD no específicos	Zonas densamente pobladas
Radio micrófonos	Teatros, estadios de fútbol
Sistemas de audio inalámbricos	Zonas densamente pobladas
Implantes médicos	En cualquier lugar, pero predominante en los hospitales y centros médicos

Los RFID en UHF se utilizan como un ejemplo para las siguientes consideraciones. El alcance, sin embargo, puede extenderse al monitoreo de otros SRD.

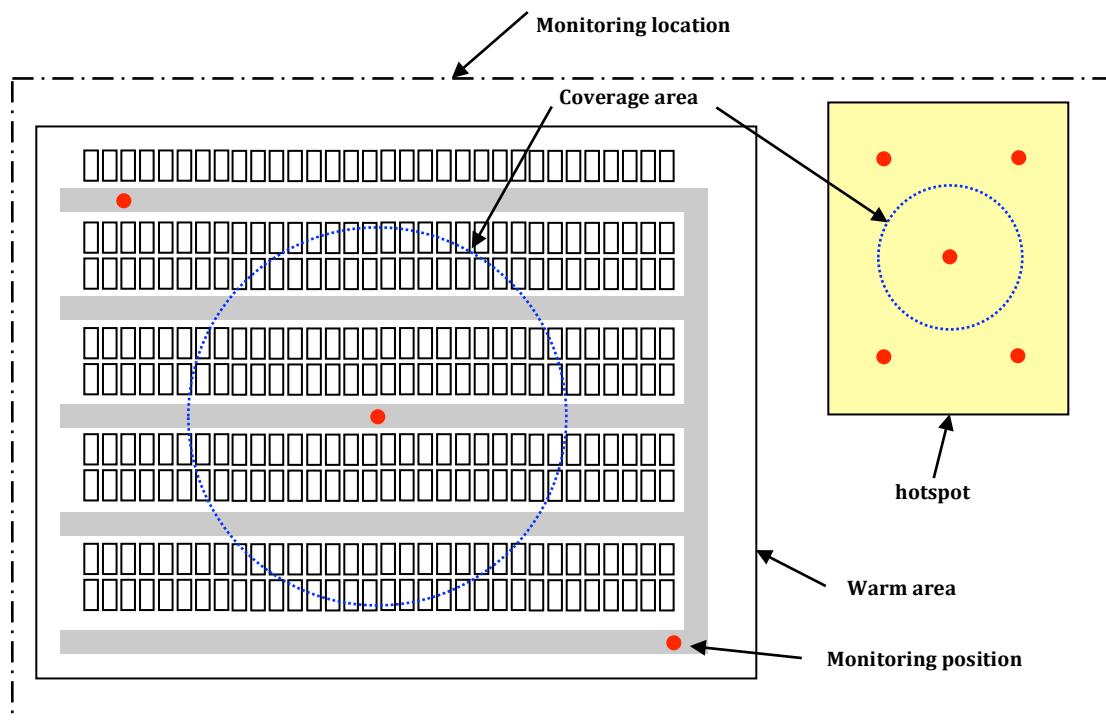
3.3.12.2.2 Monitoreo del periodo y elección de la ubicación

Una campaña de monitoreo debe incluir períodos de tiempo con base en el uso esperado de la frecuencia, por ejemplo, un periodo de 24 horas en un día de trabajo y un periodo

de 24 horas en un día de fin de semana para las RFID. Los resultados de monitoreo puede variar dentro de un área de ubicación, por lo que mover la configuración cada hora, o cualquier otro periodo de tiempo, es necesario para obtener resultados confiables. Por ejemplo, el manejo del equipaje en un aeropuerto se hace más que todo bajo tierra, por lo que las mediciones en la terminal dan resultados diferentes que en el sótano. Un pequeño número de lugares diferentes en el centro de la ciudad podría dar distintos resultados, debido a la protección que proporcionan los edificios, de manera que mover la configuración periódicamente es una ventaja. Se deben combinar los resultados de unas áreas de ubicación típicas. La sincronización de periodos mutuos de monitoreo entre las administraciones no es necesaria, si se realiza una campaña de monitoreo coordinada, ya que no hay horario o día para la sincronización entre los usos de las diferentes naciones. Durante el desarrollo de métodos y directrices se pudo apreciar la ventaja de armonizar un poco la terminología. Hay que tener en cuenta que los términos que se definen son solo relacionados con el monitoreo SRD y válidos para este apartado. Los lugares con actividad son, por ejemplo, llamados *hotspots* y áreas cálidas, que no deben confundirse con puntos de acceso WiFi.

FIGURA 134

Definiciones



Área cálida: una gran área con actividad distribuida, como un lugar de estacionamiento.

Hotspot: un área confinada con actividad. Un *hotspot* puede estar situado en un área cálida.

Ubicación de monitoreo: un lugar con uno o más *hotspots* y/o áreas cálidas.

Posición de monitoreo: una posición en un área cálida o *hotspot* desde la cual los resultados se combinan para obtener un resultado de la medición.

Área de cobertura: área alrededor de una posición de monitoreo desde donde se reciben las señales.

3.3.12.2.3 Velocidad de escaneo y sensibilidad de la configuración

Los SRD pueden tener un bajo ciclo de trabajo, 10% o inferior, no es poco común, y una potencia típica entre 25 µW y 100 mW de E.I.R.P. Se utilizan más que todo en áreas protegidas por edificios. Es fácil caer en la tentación de utilizar el ancho de banda de observación más estrecho disponible en un receptor de monitoreo, para superar por lo menos las limitaciones de baja densidad de potencia espectral E.I.R.P. que produce un SRD. Anchos de banda de observación estrechos, sin embargo, ofrecen una mejor sensibilidad del receptor, pero también limitan su velocidad de registro. Los SRD se utilizan dentro de edificios con una protección de hasta 20-30 dB, por lo que el área cubierta y la probabilidad de intercepción son inherentemente bajas.

Por lo tanto, debe buscarse un balance adecuado entre sensibilidad y velocidad de escaneo. Se recomienda también una configuración comparable con un sistema de medición de ruido de radio en términos de velocidad y sensibilidad. La calibración de la configuración se puede realizar utilizando un transmisor de prueba simulando los niveles de potencia y ciclos de trabajo. Un sistema de medición de SRD con un área de cobertura limitada debe ser trasladado a otros lugares para obtener una visión completa de toda la zona de interés. La configuración del área de cobertura se puede calcular y, a su vez, esta información se puede utilizar para determinar el número de lugares para la configuración que se desea mover.

Es necesario señalar que una figura representativa de ocupación no se puede obtener sin incluir la atenuación de los alrededores en el cálculo de ocupación final. Para los SRD de baja potencia, como las etiquetas RFID, se puede utilizar y trasladar por la ubicación un carro o una carretilla.

3.3.12.2.4 Notas sobre mediciones en tiempo real

Una medición en tiempo real es una medición donde se hace un muestreo de la señal de tiempo en un determinado ancho de banda sin que se pierda ninguna muestra. La pregunta es si esto es necesario para el monitoreo SRD. Si queremos determinar el comporta-

miento de dispositivos individuales o si las características de transmisión se desconocen, la respuesta es sí, pero hay que ser cuidadosos. Para cifras de ocupación de los dispositivos con razonables características de transmisión constantes y conocidas, la respuesta es no. Los dispositivos transmitirán a intervalos regulares, por lo que existe una alta probabilidad de detección. Este principio de muestreo repetitivo funciona bien, pero para convertir el resultado a una cifra de ocupación con una precisión razonable tenemos que elegir cuidadosamente la velocidad de medición y el tiempo de revisión. El cociente (periodo de medición/tiempo de revisión) debe ajustarse al periodo de transmisión de los dispositivos esperados.

Si en tiempo real se utiliza un analizador digital, debemos tener cuidado con el siguiente fenómeno. Para la conversión de datos de tiempo a datos de espectro se debe tomar un bloque de muestras con un cierto lapso de tiempo. Dentro de este bloque de muestras pueden ocurrir cambios que no estén presentes en la visualización espectral. Debido a los cortos tiempos de transmisión de los SRD, la ocupación puede ser sobreestimada si se elige un tiempo alto para el bloque de muestras. Para este tipo de analizador se deben aplicar las mismas "reglas" que para un analizador de barrido o escaneo. Aquí tenemos que hacer una adaptación similar a la del analizador de barrido, pero la fórmula que se utiliza cambia en (periodo de medición/tiempo de muestreo x tamaño de la ventana), que a su vez debe basarse en el periodo de transmisión de los dispositivos esperados.

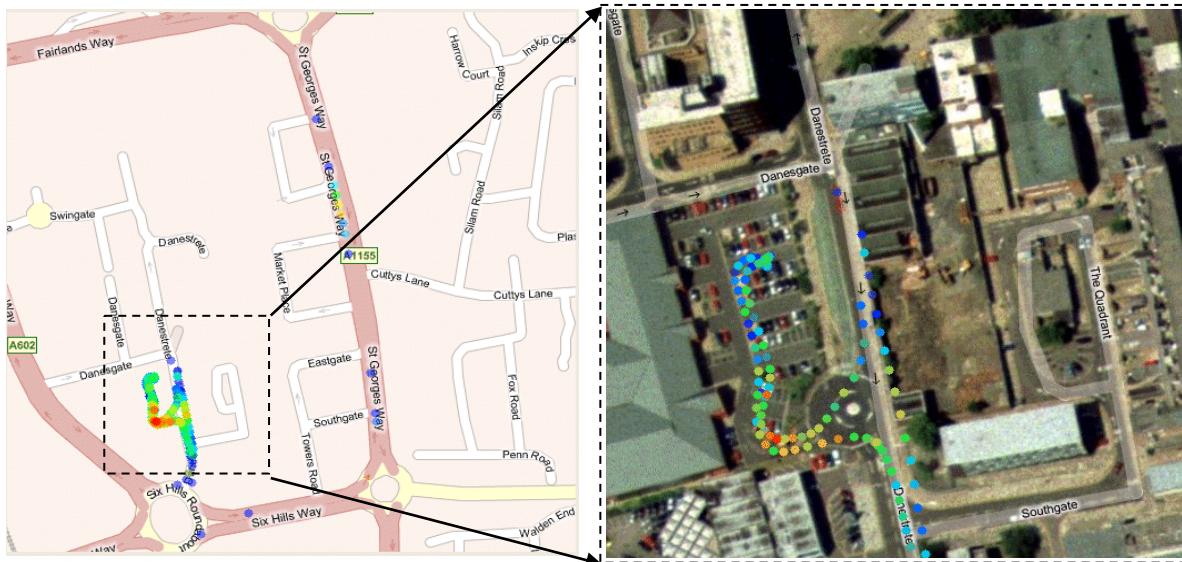
3.3.12.2.5 ¿Son necesarias las mediciones móviles?

En la sección 3.3.12.2.2 se concluye que una configuración fija no da resultados representativos, pero mediciones completamente móviles no dan la ocupación real de una baja probabilidad de interceptación.

Sin embargo, una configuración móvil se puede utilizar para investigar la presencia de los SRD de potencia relativamente alta, y para encontrar *hotspots* y áreas cálidas (*warm area*). Una investigación móvil completa, además de la medición estática en el *hotspot* o área cálida, es recomendable, pero se realiza con una menor probabilidad de interceptación que con las mediciones fijas. La Figura 135 es el resultado de una medición real realizada en una zona de estacionamiento en el Reino Unido.

FIGURA 135

Ejemplo de medición móvil



3.3.12.2.6 Umbral de detección (¿cómo puedo programar el analizador de espectro o receptor?)

En la Tabla 37 se presentan algunos valores típicos para el umbral de detección basados en un analizador de espectro de gama media. El criterio para la detección de una señal es que esté por lo menos 3 dB por encima del nivel de ruido del receptor.

TABLA 37

Valores de umbral para los analizadores de espectro

Ancho de banda del filtro [kHz]	Umbral de detección para la entrada de tensión [dBmV]	Tiempo de volver a visitar [ms]
1	0	7 000
3	5	780
10	7	70
30	10	10
100	13	2.5
300	14	2.5

- Primero se calcula el factor de antena de la antena de monitoreo destinada y con esta información se calcula el umbral de detección para la intensidad de campo. Esta intensidad de campo se basa en el supuesto de que una señal es similar o es más estrecha que el ancho de banda del filtro que se haya elegido.
- El siguiente paso es estimar la atenuación de las paredes de las edificaciones, para paredes simples y múltiples, y añadir este valor al umbral de detección, para la intensidad de campo.
- Con este umbral de detección modificado y conociendo el valor de la potencia radiada de los SRD (E.R.P o E.I.R.P.), se puede calcular la distancia a la que el SRD puede ser detectado.

La Figura 136 muestra la intensidad de campo para dispositivos de corto alcance con diferentes E.R.P. típicas tomadas de las aplicaciones típicas de SRD. El umbral de detección para las diferentes configuraciones del analizador se grafica, para estimar la cobertura de la configuración de la medición.

FIGURA 136
Intensidad de campo vs distancia de espacio libre

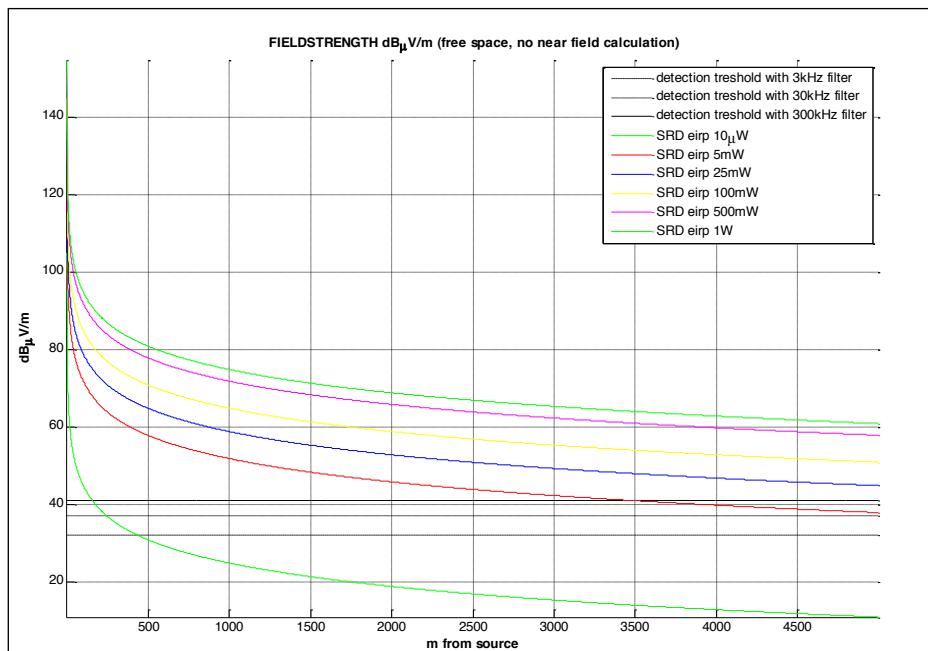
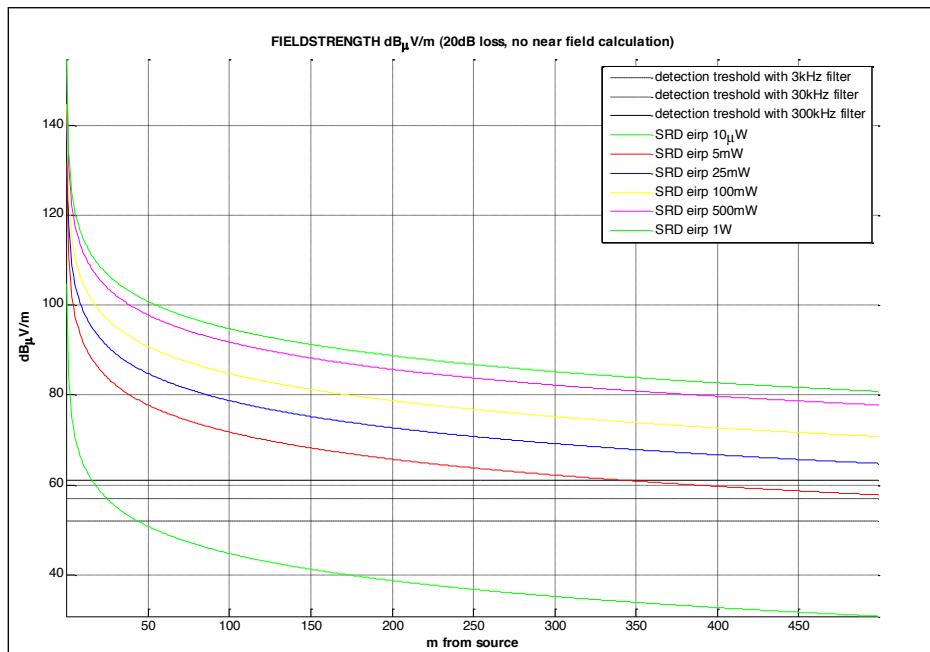


FIGURA 137

*Intensidad de campo versus distancia de espacio libre
con atenuación de 20 dB*



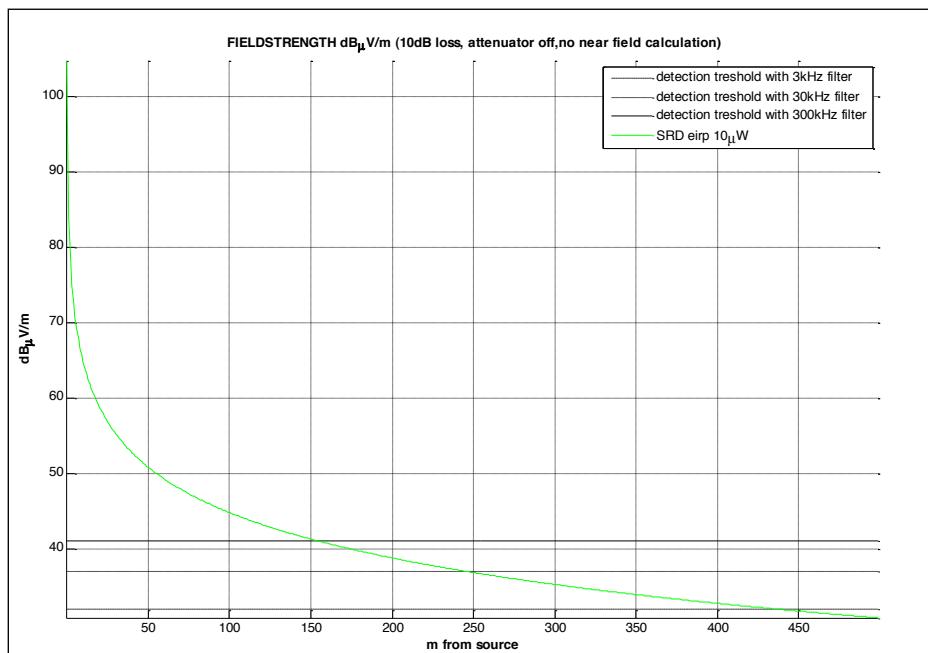
La Figura 137 muestra el mismo resultado con 20 dB de atenuación adicional (de las paredes de las edificaciones), la escala de x se limita a los primeros 500 m de la Figura 136.

Se puede concluir que la cobertura suficiente se logra, incluso con un filtro de 3 kHz y el atenuador interno del analizador establecido en 10 dB. Por lo tanto, no hay problema si se usa un receptor con menor rendimiento que el analizador mencionado, siempre y cuando el atenuador esté apagado. Esto no es un problema para una medida de ocupación (mediciones absolutas de nivel no son posibles debido a la incertidumbre de desajuste). Una atenuación de las paredes de las edificaciones de hasta 20 dB garantiza una cobertura teórica de, por lo menos, 350 m, con la configuración de filtros de IF más amplia y un SRD con una E.I.R.P. de 5 mW. Las pruebas han demostrado que para los SRD de baja potencia, un preamplificador con filtro de preselección puede ser una ventaja en áreas con múltiples atenuaciones de las paredes de las edificaciones.

Sin embargo, los problemas surgen cuando se miden dispositivos de muy baja potencia y dispositivos de banda ancha de baja potencia, como las etiquetas RFID; estas etiquetas deben ser detectadas con un filtro IF de 200 o 300 kHz, debido a su ancho de banda. La atenuación de las paredes de las edificaciones limita el rango de detección a menos de 10 m. Para tener una probabilidad razonable de interceptación de estos dispositivos, debe utilizarse un analizador de calidad de alta sensibilidad con el atenuador desactivado. Debe evitarse

la atenuación de las paredes de las edificaciones. Esto significa realizar mediciones de interiores escaneando el área con una instalación montada en un carrito o una carretilla. Cuando asumimos una atenuación de las paredes de las edificaciones de 10 dB, sin atenuador encendido y un filtro de 300 kHz, la cobertura se ve como en la Figura 137.

FIGURA 138
Intensidad de campo vs distancia para etiquetas RFID



No tiene ningún sentido estimar coberturas de más de 500 m para mediciones en tierra, ya que múltiples factores de atenuación estarían presentes. Las mediciones prácticas muestran que la cobertura es aún menor en la mayoría de los casos

Se puede concluir que:

- Una configuración de un filtro IF de 30 o 25 kHz es adecuada para todas las mediciones, excepto las etiquetas RFID, y el tiempo de revisión correspondiente es de 10 ms. El radio de cobertura será de unos 500 m, como máximo.
- Una configuración de un filtro IF de 300 kHz es apropiado para las mediciones de RFID bajo el supuesto que el atenuador del analizador esté apagado y la atenuación total de las paredes de las edificaciones y del medio ambiente no sea mayor que 10 dB. El radio de cobertura será de unos 150 m.

TABLA 38

Relación entre la potencia y la distancia para las RFIDS

Potencia	Ciclo de trabajo [%]	Rango de detección de pérdida de 20 dB a 30 kHz IF [m]	Rango de detección de pérdida de 10 dB a 300 kHz IF, sin atenuador [m]
10 µW (-20 dBm)	100	55	150
5 mW	10-100	>500	-
10 mW	0.1-1	>500	-
25 mW	0.1-10	>500	-
100 mW	<10%	>500	-
500 mW	<10%	>500	-
1W	<10%	>500	-

- No tiene ningún sentido estimar coberturas de más de 500 m de radio debido a que estarán presentes múltiples factores de atenuación.
- El uso de un preamplificador con preselector puede ser de ayuda cuando se utiliza un analizador de gama media o un receptor en situaciones con una alta atenuación de las paredes de las edificaciones.

3.3.12.2.7 Antena

La medición en un *hotspot* SRD es comparable con una medición de ruido de radio, en la cual no se puede determinar, en la mayoría de los casos, desde donde llega la mayor cantidad de radiación. Para la potencia relativamente alta de los interrogadores de RFID no hay excepción. El uso de una antena vertical con ganancia vertical, como una colineal, tiene una ventaja sobre antenas verticales con plano de tierra o antenas log periódicas, a menos que haya una fuerte indicación de que los SRD están transmitiendo en ángulos elevados. En ese caso, se pueden realizar las mediciones con antenas direccionales o antenas con una baja ganancia vertical. Se prefiere una antena pasiva seguida por un filtro de banda y un preamplificador o una antena activa de banda estrecha, por encima de una antena activa de banda ancha, ya que los productos de IM aunque sean muy bajos, pueden alterar los resultados de la medición.

3.3.12.2.8 La calidad del sistema de recepción

Para el monitoreo de SRD puede utilizarse un sistema de recepción de monitoreo normal. Sin embargo, la calidad de los datos de monitoreo se basa únicamente en la calidad del receptor, ya que el monitoreo auditivo es poco práctico. Los productos de intermodulación son difíciles de separar de las transmisiones de SRD genuinas, por lo que estos deben ser excluidos técnicamente en lo posible. El sistema necesita un balance definido entre sensibilidad y linealidad. Si el receptor necesita un preamplificador, es probable que se necesite un filtro de preselección.

Para una configuración típica de un analizador con una figura de ruido de 8 dB y una IP de tercer orden de 25 dBm se necesita un preamplificador de 10 a 15 dB y un filtro de preselección.

3.3.12.3 ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN

Un espectrograma da una idea de la dinámica de las bandas de frecuencias y es útil como fuente de información adicional. Un diagrama de ocupación revela detalles de la ocupación de cada lugar no visible en el formato tabular, así que también se debe agregar. Para estos diagramas debe elegirse una resolución más baja que el mayor ancho de banda para las bandas de frecuencias con anchos de banda mezclados en el transmisor.

Se puede suponer que las cifras de ocupación del espectro dependen de cada país. Un análisis basado en las observaciones dentro de un país es, por lo tanto, deseable cuando se realiza una campaña de monitoreo internacional. Las cifras de ocupación deben representar valores 10dB por encima del umbral de ruido r.m.s. del receptor. Un análisis manual y la interpretación de las cifras deben presentarse con los diagramas de ocupación. Un porcentaje de uso de segmentos de frecuencia específicos, por ejemplo, solo la sección de RFID, se puede utilizar para indicar la posibilidad de compartición.

Se puede utilizar una tabla como la que se muestra a continuación. Los valores no se miden realmente y son solo algunos ejemplos. La tabla necesita ser modificada/detallada según la banda que contiene el tráfico. Algunos ejemplos de cifras de ocupación por aplicación se pueden utilizar para indicar las posibilidades de compartición dependiendo de la ubicación.

Las cifras de ocupación se calculan utilizando una matriz de frecuencia y tiempo en la cual cada valor 10 dB por encima del umbral de ruido r.m.s. del receptor, antes mencionado, se considera ocupado. Debido a las propiedades ruidosas de transmisiones SRD, no se debe utilizar una dinámica convencional de silenciamiento o un umbral que sea ajustable en intervalos relativamente largos. Debe utilizarse un umbral fijo con base en el receptor real y el piso de ruido. Otra posibilidad es determinar el nivel de ruido por escáner y ajustar el umbral en forma correspondiente.

Debido a la resolución de ancho de banda y al ancho de banda de los dispositivos de transmisión, algunos valores se correlacionan dependiendo de la banda monitoreada. Esto no es un problema ya que no realiza un análisis del número de dispositivos en una banda en particular.

TABLA 39

Resultados de ocupación a través de mediciones en diferentes lugares

Ubicación	Tipo	% de ocupación			
		TOTAL	No específicos	Alarmas	Audio
		863-870	868.0-868.6 868.7-868.2 869.4-869.5 869.7-870.0	869.250-869.300 869.650-869.700 869.200-869.250 869.300-869.400	863.0-865.0 864.8-865.0
Amsterdam WTC	Oficina	20	0	2	0
Amsterdam WTC	Parqueadero	3	2	0	0

Ubicación	Tipo	% de ocupación		
		TOTAL	No específicos	RFID
		863-870	868.0-868.6 868.7-868.2 869.4-869.5 869.7-870.0	865.0-865.6 865.6-867.6 867.6-868.0
Schiphol	Área de manipulación de equipaje	20	0	20
Schiphol	Área de compras	5	0	5
Schiphol	Parqueo por largo tiempo	1	1	0
Schiphol	Parqueo por corto tiempo	2	2	0

Ubicación	Tipo	Ocupación [%]	
		TOTAL	Alta potencia específica con licencia
		863-870	865.4-867.6
Específico	Específico	30	80

Las figuras 139 y 140 muestran dos situaciones típicas en la banda de 863-870 MHz, se realiza una investigación en el centro de una ciudad y otra en un área de manipulación de equipaje en un aeropuerto. La configuración del analizador y patrón de la antena son los mismos en ambas situaciones. Aunque se trata de una investigación momentánea solo a dos *hotspots*, se puede concluir algo acerca de las posibilidades de compartición.

Ya que el monitoreo SRD no se limita a las bandas de uso exclusivo para los SRD, también puede ser necesario distinguir entre SRD y transmisiones de ISM o transmisiones de servicios. En algunos casos no es posible eliminar estos ISM y otras transmisiones no SRD del conjunto de datos, pero se pueden utilizar métodos avanzados de estadística para eliminarlas. Algunos de estos métodos se describen en las recomendaciones e informes disponibles sobre la medición del ruido de radio. Cuando la eliminación no es posible, el enfoque del monitoreo convencional es aceptar estas transmisiones, y considerar el efecto sobre la ocupación real como un factor de reducción en la precisión y veracidad de la medición. Para determinar si este enfoque es necesario, es recomendable una evaluación cuidadosa de posible ocupación de la banda de frecuencias que se mide.

FIGURA 139

Registro del espectro 863-870 MHz típico en un área RFID poblada

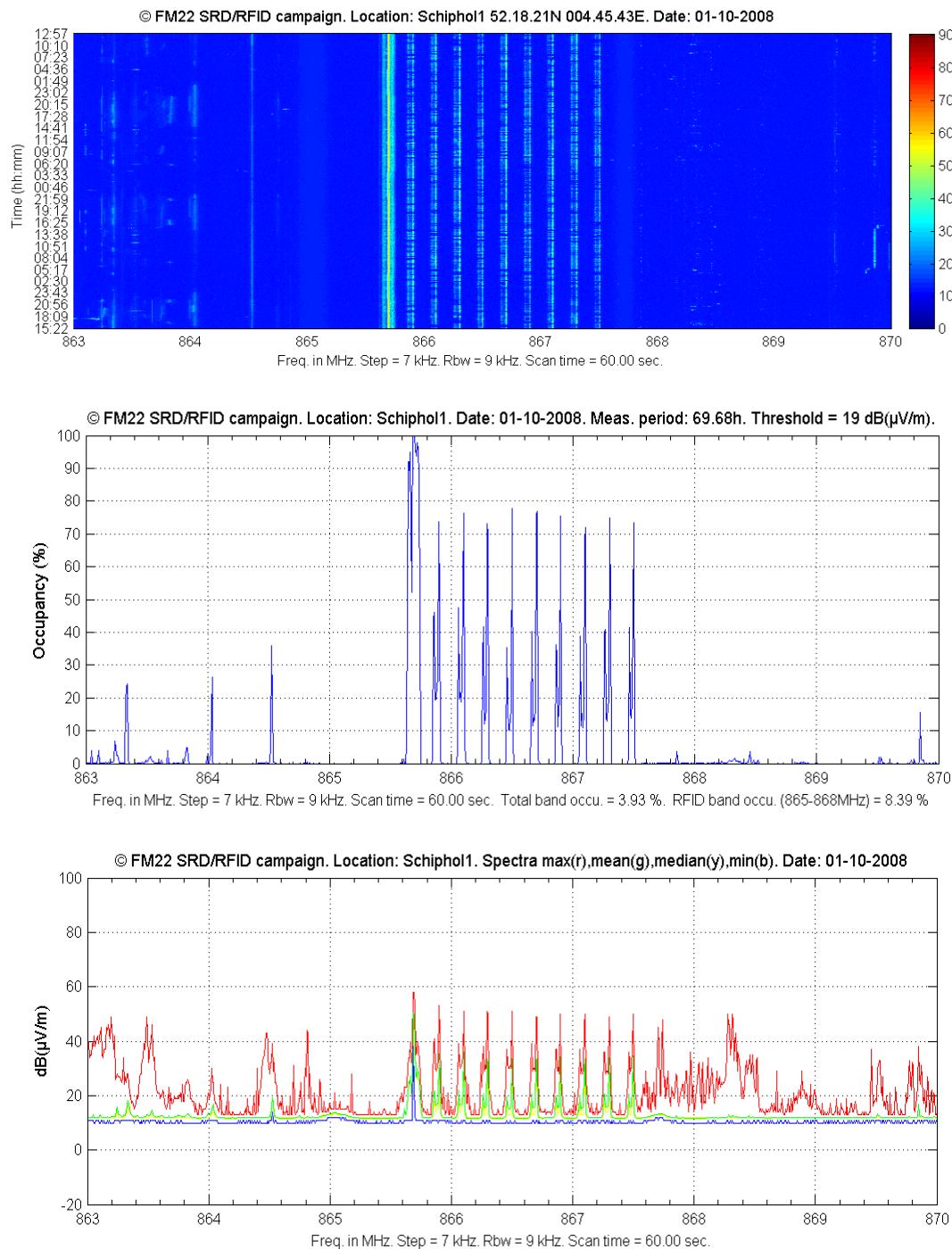
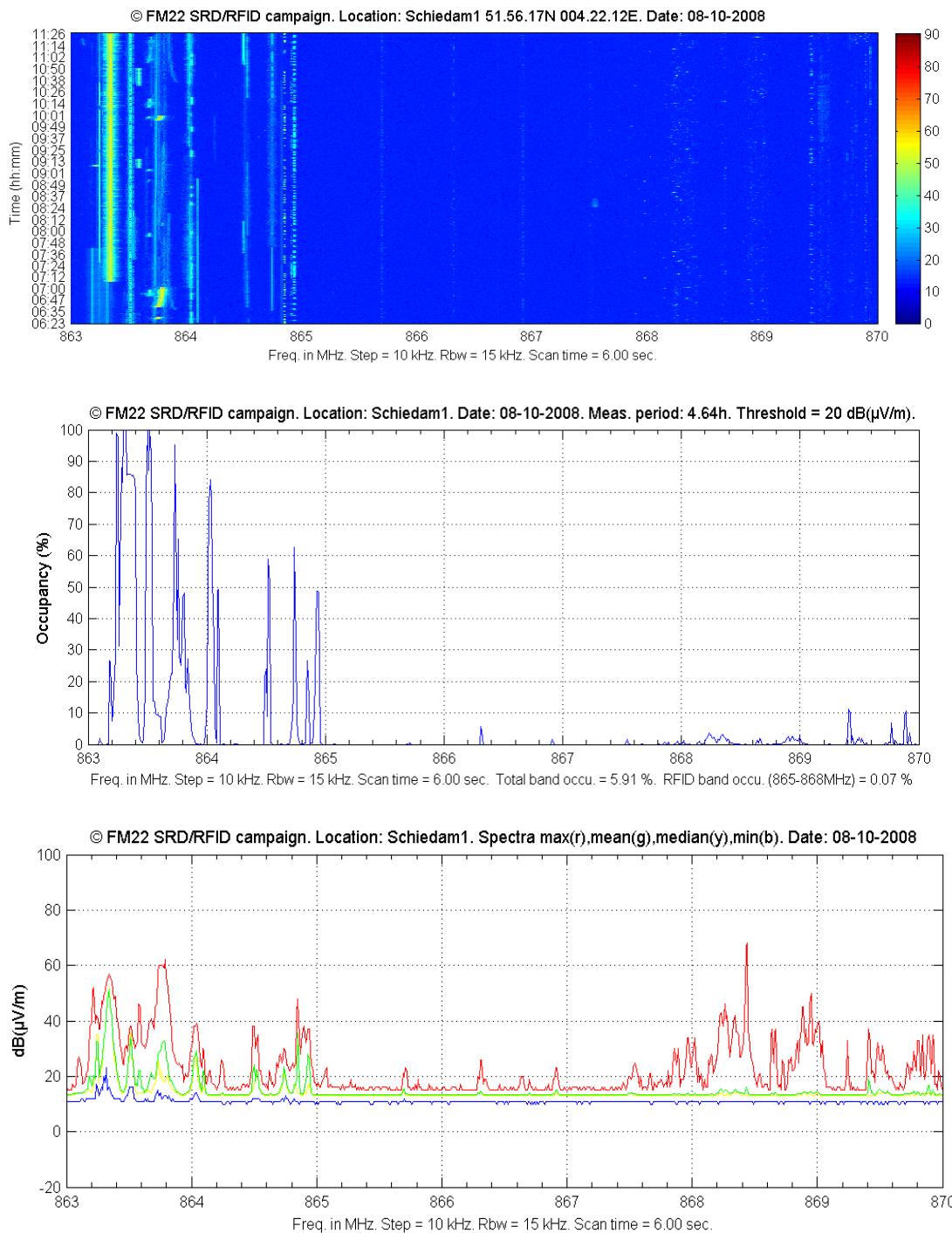


FIGURA 140

Registro del espectro 863-870 MHz típico en un área urbana poblada





CAPÍTULO 4 INSPECCIÓN

4.1 Introducción

Las actividades de inspección usualmente incluyen la revisión y verificación de las condiciones técnicas y administrativas asignadas a una estación de radio o a otro usuario del espectro. Aunque el término “autorizado” se utiliza a lo largo de este documento, en este caso debe interpretarse para incluir no solo a las estaciones con licencias expedidas por el organismo gestor, sino también a otros usuarios autorizados del espectro (como aquellos que operan con dispositivos en frecuencias de uso libre, como radios de baja potencia e instrumentos de radio que operan bajo estándares aprobados).

En la Figura 141 se puede apreciar una reseña de los diversos tipos de inspección.

Existen diferentes tipos de inspección:

- Inspecciones en sitio.
- Inspecciones remotas.
- Inspecciones administrativas.
- Otros tipos de inspecciones.

En las inspecciones en sitio, el equipo de medición se conecta directamente al transmisor.

A través de inspecciones remotas, el transmisor es medido “al aire”, mediante la función de monitoreo.

En las inspecciones administrativas solo se verifica que la documentación necesaria se encuentre disponible en el sitio.

Existen otros tipos de inspecciones, tales como inspección para medir el patrón exacto de la antena de un receptor de radiodifusión. Esto debe realizarse desde un helicóptero.

Otro tipo de inspección es medir la cobertura de una estación con base en la intensidad de campo a lo largo de una ruta. Este tipo de inspección se realiza a través de monitoreo móvil.

En este capítulo se tratan los dos tipos de inspección más importantes: inspecciones en sitio e inspecciones remotas.

4.2 Rol de la inspección

La utilización de equipos de radio continúa extendiéndose rápidamente, esto aplica al mundo de los negocios, las telecomunicaciones, la radiodifusión y las actividades de aficionados y esparcimiento. El uso no autorizado del equipo de radio puede ocasionar interferencia a usuarios legítimos. Por ejemplo, si el equipo de radio usado por los servicios de emergencia sufre interferencia puede verse comprometida la seguridad y la vida de las personas. La operación exitosa de un negocio puede verse afectada por la interferencia radioeléctrica. Radioyentes y espectadores domésticos pueden verse privados de disfrutar servicios como radio y televisión.

La entidad responsable de la verificación del espectro tiene la responsabilidad de asegurar que la interferencia perjudicial se evite al máximo; una inspección puede detectar discrepancias (ya sean accidentales o deliberadas) en una licencia antes de que se presente cualquier problema serio de interferencia.

La *inspección del equipo de radio* se define como la realización de mediciones en sitio de las estaciones de radio y la verificación de que el equipo de radio cumple con la licencia general/individual y/o las condiciones permitidas.

También será necesaria la inspección de una estación cuando se determina que una estación de radio es responsable de una queja específica por interferencia. En resumen, la inspección que se realiza como parte del cronograma de trabajo de una administración o en respuesta a una queja específica de interferencia, se diseña para asegurar que la instalación se ajusta a las condiciones para su uso y que el equipo de radio opera de tal manera que no cause interferencia indebida.

Generalmente, el equipo de radio se debe instalar y utilizar de acuerdo con la licencia o las condiciones de excepción; estas pueden especificar, por ejemplo, la frecuencia asignada, la potencia del transmisor, el tipo de antena, la altura de la antena externa, la desviación de frecuencia, el ancho de banda ocupado, etc. Las inspecciones y mediciones de las esta-

ciones de radio son realizadas por autoridades nacionales de acuerdo con sus propias pautas y procedimientos.

Para conceder una frecuencia, la administración debe definir la manera en la cual el cumplimiento de los términos de la asignación pueda verificarse. La autoridad de administración del espectro debe trabajar en forma muy cercana con las unidades de monitoreo, asignación y licenciamiento en la recolección de la información. La función de inspección puede depender de la información que resulte del monitoreo y podría incluir:

- Investigar las quejas por interferencia.
- Investigar casos de operación ilegal y operación que no esté en armonía con los términos de la licencia de la estación de radio.
- Recopilar la información necesaria para el procesamiento legal o para brindar asistencia a las dependencias de vigilancia en los casos de aplicación de la normatividad.
- Asegurarse de que los operadores de las estaciones de radio cumplan con los estatutos nacionales e internacionales y requisitos regulatorios.
- Realizar mediciones técnicas, tales como generación de ruido, distorsión y nivel de potencia en el sitio del transmisor.

4.3 Inspecciones para asistir en las actividades de licenciamiento

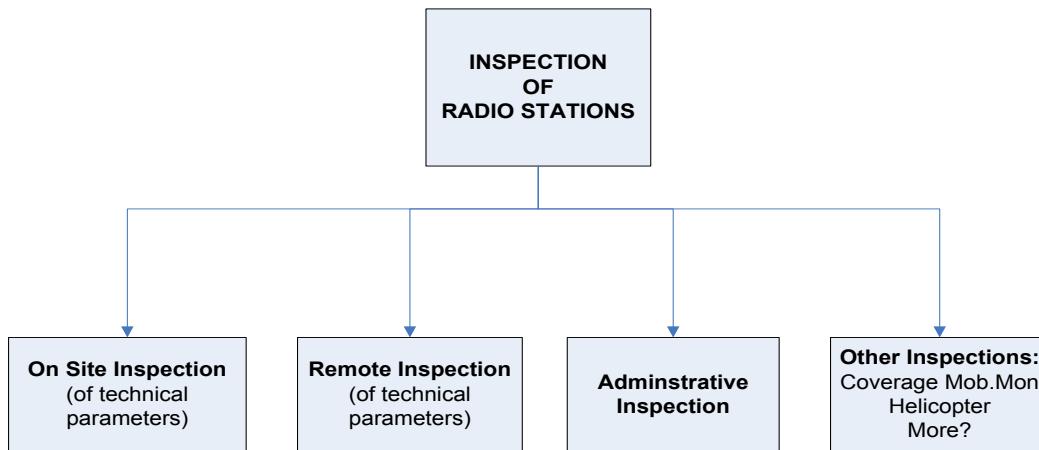
Una vez se concede una nueva licencia y con la certeza de que el equipo se encuentra operando de acuerdo con las condiciones en ella establecidas, en muchos casos, se lleva a cabo una inspección en sitio antes de que el transmisor entre en funcionamiento. Esta directriz también aplica para la utilización según el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias y el Registro Nacional para la Asignación de Bandas de Frecuencias, con el fin de evitar la interferencia desde el inicio.

4.4 La inspección como actividad de control

Esta sección describe los varios tipos de inspección que se ilustran en la siguiente figura:

FIGURA 141

Visión general de los diferentes tipos de inspección de estaciones de radio



Dependiendo de las políticas nacionales, es necesario determinar qué tipo de inspección es la más conveniente.

El monitoreo técnico periódico para verificar el cumplimiento de las condiciones de la licencia y las normas regulatorias nacionales e internacionales es igual a la inspección remota y es una herramienta de poco costo para apoyar la función de inspección.

Los parámetros técnicos más importantes que deben medirse incluyen:

• Potencia o intensidad de campo	O	M
• Ancho de banda	O	M
• Frecuencia + estabilidad	O	M
• Patrón de la antena	NP	NP
• Altura de la antena/azimut	O	M
• Coordenadas geográficas	O	NP
• Armónicos, intermodulación, espurias	O	NP
• Tipo de modulación	O	M
• Desviación (FM)	O	M
• Cobertura geográfica	NP	NP

O significa: puede ser medido en sitio

M significa: puede ser medido por monitoreo

NP significa: no puede ser medido ni mediante inspección en sitio ni por monitoreo; otros medios deben ser aplicados, por ejemplo, monitoreo móvil para cobertura o un helicóptero para el patrón exacto de la antena.

4.5 Inspección de las estaciones (relacionada con un grupo de usuarios)

Las técnicas de inspección utilizadas por las administraciones se pueden definir generalmente como los factores de decisión, los pasos para la planificación y la implementación de métodos para planear y realizar inspecciones a las estaciones. Son varias las decisiones que se deben tomar en cuanto a las inspecciones, incluyendo: qué servicios de radiocomunicaciones necesitan ser inspeccionados, cuántos se deben inspeccionar, con qué frecuencia deben ser revisados y qué nivel de detalle se requiere en cada inspección. Algunos de estos factores se pueden definir dentro las regulaciones nacionales. Generalmente se consideran varios factores, incluyendo:

- Regulaciones nacionales e internacionales u otros requisitos.
- Prioridades de trabajo establecidas por las dependencias.
- Historial de cumplimiento.
- Quejas por interferencia/potencial de interferencia.
- Densidad, localización y número de estaciones.
- Tipo de estación (por ejemplo, móvil privada, servicio de radiodifusión).
- Las estaciones recientemente autorizadas con respecto a estaciones existentes (a las que se les renovó la licencia).
- Los términos de la licencia de la estación.

Existe un rango de técnicas usadas por el organismo gestor en la organización para sus planes de inspección, que varían desde la inspección de todas las estaciones, hasta la revisión de solo algunas o de ninguna.

Las técnicas se podrían clasificar en seis grupos: inspecciones a todas las estaciones, inspecciones motivadas, muestreo, inspecciones remotas, con base en riesgo e inspecciones aleatorias.

4.5.1 *Inspecciones a todas las estaciones*

La mayoría de las administraciones fijan como meta (o tienen como requisito en sus regulaciones y políticas) la inspección de todas las estaciones. Este requisito se limita usualmente a inspeccionar solo las estaciones recientemente autorizadas (antes de que comiencen sus operaciones), inspeccionar anualmente todas las estaciones o inspeccionar las estaciones al menos una vez durante la vigencia de la licencia (que podría ser más de un año).

4.5.2 *Inspecciones motivadas*

Las inspecciones se originan por motivaciones específicas, tales como quejas por interferencia, incumplimiento de parámetros descubiertos durante el monitoreo del espectro o cualquier otra situación que indique una posible infracción. Además, las inspecciones se pueden generar por eventos especiales (por ejemplo, acontecimientos deportivos importantes) o por la necesidad de determinar el nivel de cumplimiento de un ítem específico (por ejemplo, precisión en las coordenadas de la torre); esto también podría responder a los requerimientos de otros departamentos del organismo gestor que tengan un interés particular en este ítem.

4.5.3 *Muestreo*

La selección de inspección por muestreo se basa en mediciones estadísticas. En su forma más simple, inspeccionando una pequeña muestra de todas las estaciones se puede deducir el cumplimiento total de acuerdo con el índice de cumplimiento de la muestra. Algunas administraciones utilizan métodos estadísticos y de análisis de riesgo para estimar índices totales de cumplimiento y utilizan los resultados para planear futuros niveles de inspección. Por ejemplo, una alta tasa de cumplimiento puede resultar en pocas inspecciones (menor muestreo) al servicio de radio en el siguiente año.

En el caso de administraciones grandes, con muchas estaciones, no resulta práctico realizar inspecciones en sitio de todas ellas, debido a limitaciones de presupuesto y personal, entre otras razones. En esta situación, las técnicas de muestreo se pueden utilizar para ofrecer una estrategia óptima y replicable para la selección de estaciones de radio/redes que serán inspeccionadas para la verificación del cumplimiento.

La premisa del muestreo es que un subconjunto de la población total (número total de estaciones en un servicio determinado) sea examinado para establecer algunos criterios. Los resultados en el subconjunto o la “muestra” se proyectan a la población total. La determinación del tamaño de la muestra y la selección de las estaciones que serán inspeccionadas son importantes para lograr resultados precisos basados en la muestra.

4.5.4 *Inspecciones limitadas, también llamadas inspecciones remotas*

Las inspecciones remotas pueden verificar solamente un ítem específico que sea de interés para el organismo gestor, por ejemplo, un expediente administrativo de cierta esta-

ción o la potencia de salida del transmisor. De igual manera, algunas administraciones restringen su programa de inspección y verificación de estaciones y la verificación de los parámetros de sus licencias, a las actividades de monitoreo del espectro. Aunque no se haga ninguna visita a la estación, se pueden medir algunos parámetros técnicos clave, como por ejemplo, frecuencia, ancho de banda, desviación de frecuencia y E.I.R.P., con solo monitorear las emisiones. E.I.R.P. Algunos parámetros como la E.I.R.P. se pueden medir incluso en forma más adecuada desde una distancia apropiada. El no cumplimiento de los parámetros monitoreados podría entonces generar la necesidad de una inspección en sitio más exhaustiva. Este tipo de inspección se describe en la sección 4.7.

4.5.5 *Inspecciones basadas en riesgo*

Algunas licencias se pueden considerar como “de alto riesgo”. Estas licencias tienen que ver con las estaciones de radio que tienen un mayor potencial de crear interferencia que otras. Tales licencias podrían ser aquellas concedidas para sitios con una alta concentración de transmisores de RF, licencias en frecuencias adyacentes a servicios de seguridad o licencias en un espectro con transmisores tanto de alta como de baja potencia. Las administraciones pueden centrar sus esfuerzos en revisar estaciones con una “licencia de alto riesgo”. Con base en consideraciones similares, las administraciones pueden concentrar sus inspecciones en sitios que son muy utilizados para propósitos de comunicación por radio, sitios denominados de alto riesgo.

Además de estos pasos para la planificación general, el proceso de inspección incluye varios factores que se consideran en la implementación del plan de inspección, como:

- Disponibilidad, alistamiento y calibración de los equipos.
- Manuales de los equipos y guías para el procedimiento de medición.
- Formatos y guías de inspección.
- Requerimientos de viaje.
- Verificación de registros de inspecciones previas (por ejemplo, historial de la licencia, localización, historial de cumplimiento).
- Acuerdos de cooperación con otras entidades gubernamentales (policía, etc.), en caso que se necesite.

4.5.6 *Inspecciones aleatorias*

Un tipo comúnmente utilizado de inspección es la inspección aleatoria, que se utiliza para inspeccionar todos los tipos de transmisores en un área geográfica predefinida. Si va-

rios usuarios se concentran en áreas específicas dentro de un país, este tipo de inspección trae muchas ventajas en relación con el tiempo empleado. De lo contrario, el inspector tendría que visitar varias veces la misma área geográfica, para realizar inspecciones a otras estaciones.

4.6 Inspecciones en sitio

Como se anteriormente, aunque el término “autorizado” se utiliza a lo largo de este documento, en este caso debe interpretarse para incluir no solo a las estaciones con licencias expedidas por el organismo gestor, sino también a otros usuarios autorizados del espectro (como aquellos que operan con dispositivos en frecuencias de uso libre, como radios de baja potencia e instrumentos de radio que operan bajo estándares aprobados).

Esta sección se refiere a las inspecciones en sitio o visitas a la localización del transmisor.

4.6.1 Equipo

Los siguientes items abarcan una lista de equipos que es comúnmente utilizada durante la inspección de una estación de radio:

Equipo primario:

- Medidor de frecuencia.
- Medidor de potencia/acopladores direccionales.
- Analizador de espectro/receptor de medición.
- Antenas.

Los parámetros más importantes de operación, frecuencia, potencia de transmisión y propiedades espectrales de RF pueden evaluarse con estos instrumentos.

Equipo adicional:

- Analizador de radiocomunicaciones.
- Medidor de intensidad de campo.
- Medidor de la densidad del flujo de potencia con sensor de campo isotrópico E y H.
- Analizador de modulación (TV, digital, u otros tipos).
- Localizador de rangos/telémetro.

- Grabador de medición de distancia.
- Brújula
- GPS
- Soportes de antena/trípodes.
- Carga resistiva de potencia.
- Cables, conectores y accesorios.

Algunos de estos elementos se utilizan para confirmar la altura de las torres/localizaciones, la orientación de la antena y para medir parámetros especiales que son únicos de un servicio de comunicaciones determinado (por ejemplo, un GPS, una TV o un analizador de modulación digital).

Las administraciones han observado que el equipo de medición especial adicional puede ser necesario para algunas inspecciones, dependiendo de los tipos de emisión, las frecuencias asignadas, la introducción de nuevas tecnologías de comunicación y las tareas de inspección. Por ejemplo, un modelo reciente de un analizador de radiocomunicaciones, con características de modulación digital avanzadas, puede ser necesario en algunas inspecciones para detectar adecuadamente y medir las portadores digitales que usan nuevas técnicas de modulación/acceso al espectro, si ese tipo de medición es requerido por la administración.

De igual manera, es probable que el uso de alguno de los equipos de medición no sea apropiado en las frecuencias recientemente autorizadas, por lo que se requeriría reemplazar o aumentar el equipo existente. Además, los nuevos desarrollos en telecomunicaciones requerirán la revisión periódica de la capacidad de medición contra los parámetros de las licencias de las estaciones y los requisitos de inspección.

Un factor importante a considerar al usar cualquier instrumento es la incertidumbre en la precisión de la calibración y medición del equipo. Las pautas del fabricante del equipo deben ser consultadas para determinar cuáles son los requisitos de calibración. Las prácticas generales de medición incluyen la aplicación de tolerancias a las mediciones de inspección basadas en la incertidumbre/repetitividad del instrumento de medida. Una práctica recomendada en la planeación de inspección es montar el equipo que se utilizará (junto con sus manuales y guías para el procedimiento de medición) y verificar su funcionamiento apropiado antes de llevar a cabo el trabajo de inspección.

El software de control del equipo se puede utilizar como “asistente de medición” para capturar mediciones estándar que se repiten. El “asistente de medición” puede ser una herramienta útil para asegurarse de que serán tenidas en cuenta todas las consideraciones sobre tolerancias de medición. El software que se ejecuta en un computador portátil, le ayuda al agente inspector durante el proceso de medición. Utilizando una interfaz como GPIB, RS-232, o USB, el asistente de medición puede comunicarse con el equipo de medición y recopilar todos los datos necesarios, para después compararlos automáticamente con los datos autorizados en la licencia y preparar un reporte.

4.6.2 Parámetros técnicos

Generalmente, cualquier ítem especificado en la licencia de una estación o dentro de las condiciones de funcionamiento puede ser medido o verificado durante una inspección. Los parámetros de operación de una estación son importantes para el control de la interferencia, permitiendo que múltiples estaciones coexistan en las mismas frecuencias y/o en las mismas áreas geográficas, y son útiles para asegurar el uso eficiente del espectro. Los parámetros especificados son importantes en la determinación del área de cobertura de una estación y la cantidad de espectro ocupada. La siguiente lista abarca los parámetros técnicos que pueden ser verificados durante las inspecciones.

- Frecuencia (compensación y estabilidad).
- Potencia de salida del transmisor.
- Coordenadas geográficas.
- Armónicos, productos de intermodulación y emisiones espurias.
- Intensidad del campo eléctrico, magnético y electromagnético.
- Ancho de banda.
- Altura y azimut de la antena.
- Patrón de la antena.
- Parámetros de modulación.
- Nivel de ruido en el sitio.
- Densidad de flujo de potencia.

Los items específicos que se verificarán variarán por tipo de estación/servicio de radio-comunicaciones, regulaciones de radio de cada país y políticas regulatorias del organismo gestor. Otros factores que afectan lo que se está verificando podrían ser: los problemas descubiertos previamente, los items que se consideraron como fuentes potenciales de interferencia o los relacionados con interferencia real denunciada. Los factores indirectos podrían ser la carga de trabajo del personal del organismo gestor o la disponibilidad de equipo. El organismo gestor planifica el trabajo de inspección enfocándose típicamente en estos factores.

La Tabla 40 resume los equipos, los complementos y los parámetros medidos según lo planteado en las secciones anteriores.

TABLA 40
Resumen de equipos y parámetros medidos

Equipos	Parámetro medido
Analizador de espectro/receptor de mediciones, antena	Frecuencia, ancho de banda, intensidad de campo, armónicos, productos de intermodulación y emisiones espurias
Analizador de señal, antena	Intensidad de campo eléctrico, magnético y electromagnético
Medidor de frecuencia, antena	Frecuencia y despliegue de frecuencia
Medidor de potencia, acoplador direccional, carga resistiva	Potencia del transmisor de salida (directa y reflejada)
Medidor de intensidad de campo con antena calibrada/cable	Intensidad de campo
Medidor de densidad de flujo de potencia	Intensidad eléctrica, magnética y electromagnética del campo
Analizador de modulación	Parámetros de modulación de tipo específico de señales y presencia de señales adicionales
Medidor de distancia o rango	Distancias, incluyendo la altura de la antena
Registro de medición	
Brújula	Azimut de la antena
GPS	Localización del sitio

4.6.3 Revisión de registros existentes

La licencia de la estación y las condiciones de operación son algunos de los principales expedientes administrativos que se verifican cuando se inspeccionan las estaciones. Estos documentos deben estudiarse antes de que se realicen las inspecciones, porque el equipo de medición requerido depende de los parámetros técnicos allí especificados. Algunos parámetros técnicos no se derivan de la documentación de la licencia, como, por ejemplo, el tipo de conectores utilizados en un transmisor de alta potencia y, por lo tanto, deben ser determinados mediante investigaciones adicionales. Un objetivo importante de la inspección es confirmar que la estación está operando de acuerdo con los parámetros destinados por la administración para el uso del espectro de frecuencia.

Los parámetros medidos u observados se comparan con los parámetros autorizados, para determinar si la estación está cumpliendo. Otros archivos que deben revisarse son: las certificaciones/el estado de aprobación del equipo instalado, los archivos relacionados con las operaciones diarias (tales como notas de la operación del transmisor y notas de programación), así como otros archivos especiales que pueden requerirse en ciertos tipos de estaciones.

Los resultados de la inspección son normalmente registrados en un formato adecuado o lista de verificación diseñada para recolectar la información importante según lo determinado por el organismo gestor. Básicamente, esto incluirá la verificación de los parámetros de la licencia discutidos previamente, anotaciones con respecto a cualquier no conformidad o desviación de parámetros establecidos en la licencia, la descripción de la localización del transmisor (con las fotos, de ser necesario), el personal presente durante la inspección, el equipo utilizado y los comentarios del inspector, con una descripción de las acciones que se deban tomar posteriormente. Las no conformidades se informan a la estación para ser corregidas y se registran en el reporte de inspección y en otro lugar que, generalmente, es la base de datos de inspección y cumplimiento de la administración. La información de estos registros (los niveles de cumplimiento y otros resultados de la inspección) se puede utilizar para ajustar los planes futuros de inspección.

Para algunas administraciones, los resultados de inspección son también útiles para verificar o mejorar la exactitud de las bases de datos de licencias existentes. Esto puede ser de gran provecho cuando hace falta información en la base de datos del organismo gestor o contiene información distinta de la que se observa durante la inspección y se determina que la base de datos contiene errores.

Finalmente, las administraciones nacionales pueden ser organizadas de diferentes maneras, con distintos departamentos, que cumplen diversas funciones. Dependiendo de la organización del servicio de inspección de la administración, otros ítems técnicos y administrativos (tales como seguridad eléctrica, condiciones de riesgo por radiación de la radiofrecuencia, seguridad de la torre y otros ítems) pueden verificarse también.

4.6.4 Procedimientos detallados e información para la optimización y racionalización de las actividades de inspección

Cuando una administración da inicio a las actividades de inspección, especialmente si no tiene experiencia, resulta provechoso centrar los recursos de inspección en varias áreas que sean de mayor beneficio para la administración en términos de utilización eficiente del espectro.

Algunas prioridades sugeridas para la planeación de inspección son:

- Inspecciones de todas las estaciones recientemente instaladas; estas actividades se pueden combinar con las pruebas de aceptación de las instalaciones. Además, al combinar los datos de inspección con los resultados de monitoreo del espectro, se pueden asociar a las instalaciones de la estación parámetros de emisión relevantes, (intensidad de campo, frecuencia, ancho de banda y modulación) y almacenarlos en una base de datos para comparaciones subsecuentes durante el monitoreo de rutina a las operaciones de la estación.
- Inspecciones a los transmisores más potentes (como los transmisores de radiodifusión), preferiblemente a través de la cooperación con la actividad de monitoreo para registrar la intensidad de campo y otros parámetros.
- Inspecciones de aquellos servicios donde las estadísticas (por ejemplo estadísticas de interferencia e inspecciones anteriores) muestran un mayor número de violaciones. Estas son generalmente estaciones de PMR (radio móvil privada). Una vez más, el apoyo de las actividades de monitoreo ayudará a perfeccionar la base de datos de licencias y a establecer una referencia para futuras actividades de monitoreo con fines de verificación de cumplimiento.

4.6.4.1 UNA ESTRUCTURA FORMAL DE PLANEACIÓN DE ACTIVIDADES DE INSPECCIÓN

La ventaja de una estructura formal para la gestión de las actividades de inspección es que se tiene una visión amplia de todos los factores que pueden influenciar la planeación de la inspección y mejorar los resultados de estas actividades.

La estructura se puede dividir en áreas funcionales o de proceso, así:

- Datos de referencia.
- Gestión de la documentación.
- Gestión de los recursos.
- Gestión de las actividades de inspección.

Los datos de referencia comprensibles son necesarios para apoyar la planeación de las actividades de inspección, consisten en una base de datos de licencias segura, una base de datos histórica, exacta y actualizada continuamente, planes operacionales y regulaciones nacionales.

Un sistema de gestión de la documentación debe instalarse para garantizar que se encuentren al día los procedimientos de inspección, el manual nacional, los modelos de reportes, los documentos para aplicación de la normatividad y los certificados de calibración del equipo.

Los recursos importantes que se consideran son el personal, equipos y recursos financieros. Cualquier inspección en sitio se ve significativamente afectada por las habilidades profesionales del equipo de trabajo, incluyendo el conocimiento regulatorio y técnico de los asuntos de inspección, técnicas de medición, ética y comportamiento del agente que inspecciona.

La selección del equipo que se utilizará depende del conjunto de parámetros de interés y de las tolerancias asociadas con base en regulaciones nacionales o internacionales. El equipo se debe calibrar para asegurar la repetitividad, la reproducibilidad y la confiabilidad. La planeación de los recursos es necesaria para disponer del personal y equipos en el momento que se requiera.

La gestión de las actividades de inspección incluye la estandarización de los requisitos de calidad, la planificación de las actividades de inspección, la actualización de los procedimientos de inspección, el registro de los resultados de las mediciones, el control y ajuste a la planeación y la gestión de viajes.

La estructura formal se puede ajustar para incluir otros procesos o factores de planeación que puedan ser específicos a un organismo gestor determinado. Un plan anual de inspección (AIP) tiene la ventaja de ofrecer un procedimiento consistente. El plan muestra los factores importantes que deben considerarse, así como las relaciones entre los diferentes factores y cómo se afectan unos a otros.

4.6.4.2 CRITERIOS ESTADÍSTICOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA DE INSPECCIÓN

La inspección de las estaciones de radio es esencial para una identificación temprana de problemas técnicos en las redes de radio, para prevenir problemas de interferencia. Especialmente cuando se trata de administraciones grandes, con muchas estaciones, la inspección en sitio de todas no resulta práctica por limitaciones de personal y presupuesto, entre otras razones. Las técnicas de muestreo pueden ser utilizadas para lograr una estrategia optimizada, a la que se le puede realizar seguimiento, con la selección de estaciones de radio/redes que se inspeccionarán para verificar su cumplimiento.

La premisa del muestreo es que un subconjunto de la población total (número total de estaciones en un servicio determinado) se examina en la búsqueda de ciertos criterios.

La premisa del muestreo es que se examina un subconjunto de la población total (número total de estaciones en un servicio determinado) para establecer algunos criterios. Los resultados en el subconjunto o la “muestra” se proyectan a la población total. La determinación del tamaño de la muestra y la selección de las estaciones que serán inspeccionadas son importantes para lograr resultados precisos basados en la muestra.

En otras palabras, de un cierto grupo de usuarios se puede conocer la cantidad de estaciones que están funcionando. Con base en estadísticas, por ejemplo, estadísticas de interferencia, se puede decidir si se inspeccionará, por ejemplo, el 10% de las estaciones. Si los resultados son negativos, lo cual significa que en ese 10% los resultados son muy negativos, se puede tomar la decisión de inspeccionar el 15% del grupo al año siguiente. En caso de que los resultados sean positivos, se puede tomar la decisión de reducir la muestra al 5%.

Nota: Hay que tener en cuenta que estos porcentajes mencionados son indicativos y solo una recomendación del autor.

4.7 Inspecciones remotas

Esta sección tiene que ver con el papel del monitoreo del espectro como apoyo a las inspecciones (ilustrado con ejemplos). En los casos en que la relación entre el monitoreo del espectro y las inspecciones es muy fuerte o directa, se puede hablar de monitoreo como apoyo a la inspección. Para evitar confusiones es necesario aclarar que este apoyo y las "inspecciones en sitio" no son intercambiables sino complementarias en el proceso total de inspección.

Algunos parámetros clave, como frecuencia, desviación de frecuencia, ancho de banda y fuerte exceso de potencia, se pueden verificar eficientemente utilizando estaciones de monitoreo móviles o fijas, y, por ende, se puede verificar la disciplina operacional del operador y el cumplimiento de los parámetros de una estación de acuerdo con la licencia. Entre las ventajas de este método se encuentran que varias estaciones se pueden verificar desde una localización, si el nivel de señal es suficiente, y no es necesario contactar a los operadores de la estación ni involucrarlos en el proceso.

Especialmente, transmisores de radiodifusión VHF y UHF pueden medirse efectivamente desde cierta distancia. La intensidad de campo medida o el voltaje de entrada del receptor pueden ser comparados con los resultados de una herramienta de planificación o, mejor aún, con resultados anteriores que se encuentren almacenados en una base de datos. Cualquier anomalía es divulgada inmediatamente. Debe tenerse en cuenta que la variación en las condiciones de propagación no deben descuidarse, especialmente en bajas frecuencias. También es importante recordar que los resultados del monitoreo del espectro no siempre se pueden considerar como legalmente válidos y es probable que deban ser verificados mediante inspecciones suplementarias en sitio.

Una técnica discutida es el uso de equipo común de monitoreo/medición para generar una inspección mediante el registro de los mismos parámetros que serían observados durante una inspección. Los resultados del monitoreo obtenidos con este equipo se pueden utilizar para seleccionar a los candidatos para una inspección en sitio. Estos procesos de moni-

toreo no reemplazan las inspecciones en sitio, pero se pueden utilizar para ahorrar dinero en situaciones donde, de otra forma, se requeriría una gran cantidad de configuraciones de medición costosas y algunas veces únicas.

Las inspecciones remotas no son nuevas pero, gracias a la automatización, estas pueden superar los resultados recolectados mediante técnicas tradicionales de monitoreo del espectro.

Con el fin de poner las inspecciones remotas en su correcta perspectiva, es necesario hacer ciertas precisiones sobre la exactitud e incertidumbre de las mediciones. La incertidumbre de medición es influenciada tanto por la metodología utilizada como por las limitaciones del equipo. Algunos de los parámetros básicos a ser medidos se discuten aquí, junto con una indicación de sus limitaciones. Una comprensión profunda de las limitaciones de utilizar el monitoreo para brindar asistencia a las inspecciones es esencial para la coordinación eficiente entre los servicios de monitoreo e inspección, y para la efectividad de estos programas.

4.7.1 Potencia radiada efectiva e intensidad de campo

Al observar diversos métodos para obtener la E.R.P., podemos identificar algunas precisiones asociadas, como resultado de la metodología utilizada. La Tabla 41 muestra las metodologías más comunes para la medición/estimación de la E.R.P. Cada método tiene sus propias ventajas y probabilidades de exactitud..

TABLA 41
*Metodología en relación con la precisión y
mediciones/estimaciones*

Tipo	Resultado de E.R.P.	Precisión (2σ)	Independencia
Monitoreo a lo largo de una ruta	E.R.P. y diagrama de antena	8 dB	Sí
Monitoreo a largo plazo	1 o 2 direcciones	5 dB	Sí
Inspección en sitio	E.R.P. máxima únicamente	2 dB	No (la incertidumbre extra es ± 7 dB)
Medición desde el helicóptero	E.R.P. y diagrama	1.4 dB	Sí

Podemos ver que para una inspección en sitio existe una incertidumbre adicional, ya que la mayoría de las estaciones de transmisión tiene mezcladores, filtros y grandes estructuras sintetizadas de antena, sin acceso físico a sus componentes individuales. Los valores de la atenuación se pueden medir solamente durante la instalación de la estación y, por lo tanto, únicamente el operador de la estación los conoce con razonable precisión. Para pequeñas estaciones con acceso a todos los componentes no aplica esta incertidumbre adicional.

En lugar de realizar visitas al sitio del transmisor y de realizar inspecciones físicas o hacer mediciones con unidades móviles de monitoreo, los transmisores se pueden medir desde estaciones remotas fijas. En muchos países, los servicios de monitoreo cuentan con estaciones remotas que puedan utilizarse para medir parámetros básicos del transmisor desde diversos ángulos y comparar los resultados con valores teóricos obtenidos con herramientas de planificación. Automatizar estas mediciones, procesar los datos y presentar los resultados ya no son procedimientos dispendiosos. Si la automatización se aplica de manera correcta puede convertirse en un proceso completamente administrativo. Sin embargo, un ingeniero técnicamente capaz de realizar el monitoreo debe tener siempre la responsabilidad final de garantizar la calidad y de interpretar los resultados. Los resultados finales de una medición podrían constar de gráficos de cada canal y una lista que presente una situación verde/roja para todos los transmisores. La gestión de la estación de monitoreo o el departamento encargado de la aplicación de la normatividad puede decidir cuál será el seguimiento que se le dé a estos resultados. Se debe tener en cuenta que para obtener la precisión típica presentada en la Tabla 39, las unidades de monitoreo deben ser puestas a distancias donde las variaciones de la intensidad de campo, a causa de los efectos de propagación, estén dentro de límites razonables.

La incertidumbre de medición de la configuración de monitoreo y el número de estaciones utilizadas para obtener un valor son factores a considerar. Usualmente, un receptor de monitoreo tiene un indicador de intensidad de campo, pero, en general, carece de precisión y linealidad. Otro factor es la antena, las antenas de monitoreo comunes son de banda ancha pero no tienen un patrón bien definido y ganancia en la totalidad de las bandas de frecuencias. El método descrito, por lo tanto, no reemplaza una medición desde un helicóptero o una inspección física con el equipo de medición real, pero puede facilitar la selección de candidatos a inspeccionar.

4.7.2 *Medición de emisiones espurias*

Además de mediciones remotas de la E.R.P. y de intensidad de campo también se pueden realizar mediciones de emisiones espurias remotas, pero las limitaciones son diferentes.

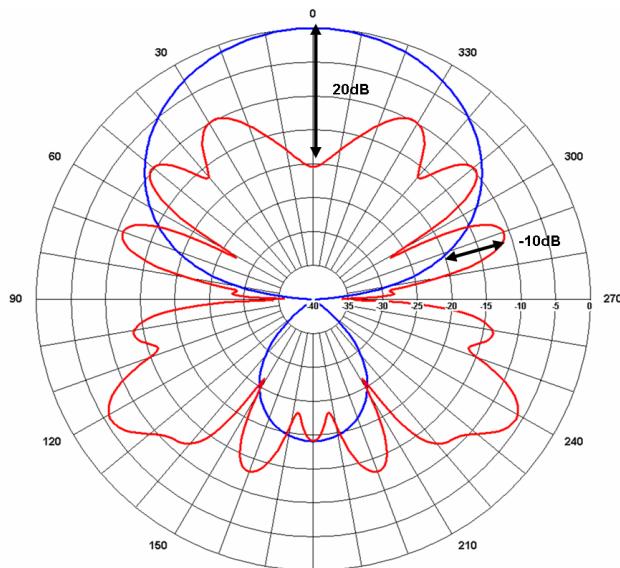
Las emisiones espurias se presentan como un valor x dB bajo y consisten en emisiones fuera de banda, ruido, armónicos, etc. Un factor que influye la medición es la antena de la estación transmisora que se encuentra bajo prueba. El patrón de la antena es de especial interés. Las señales espurias que se encuentran relativamente lejos de la señal deseada son transmitidas con un patrón de antena totalmente distinto al de las señales deseadas. Esto depende, por supuesto, del ancho de banda y otras propiedades de la antena de transmisión, pero, en la mayoría de los casos, la incertidumbre no puede determinarse. La Figura 142 nos muestra una representación gráfica del problema.

El patrón azul de la antena es el de una señal deseada y el rojo muestra los componentes espurios. En el lóbulo principal, las emisiones espurias parecen estar 20dB por debajo, y en un azimut de 285° hay 10dB más de emisiones espurias que en la señal deseada. Podemos concluir que se requieren múltiples puntos de medición para poder llegar a alguna conclusión sobre el valor absoluto de las emisiones espurias utilizando sitios de medición remota.

Es muy poco probable que una sola estación de monitoreo remota se pueda utilizar para realizar una medición adecuada de emisiones espurias. Una indicación de la presencia medible de emisiones espurias es especialmente posible cuando la medición se realiza desde diferentes puntos (bajo diversos ángulos).

FIGURA 142

Patrón de la antena de transmisión para una señal deseada y una espuria

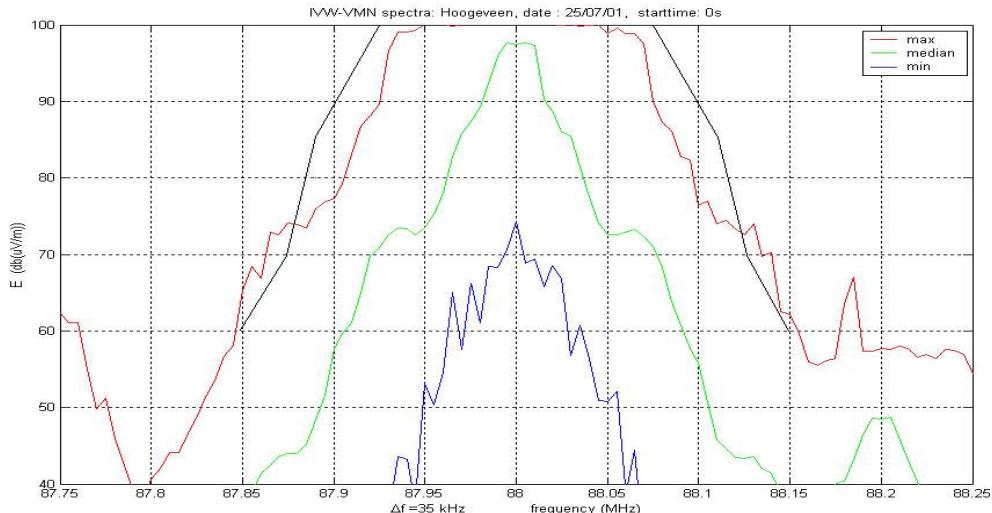


4.7.3 *Mediciones de la máscara*

Las mediciones de la máscara se utilizan para medir el ancho de banda o la conformidad del espectro emitido contra una referencia establecida. Generalmente, para este tipo de medición se utiliza un analizador de espectro o un receptor de medición, con capacidades de escaneo. Para ciertas mediciones se requiere de una velocidad de escaneo y procesamiento definida, debido al comportamiento dinámico de la señal. Los receptores de monitoreo, sin embargo, pueden imitar algunas de las funciones de un analizador de espectro con el software correcto. La precisión de la medición y las capacidades de escaneo de un sistema de medición de este tipo deben observarse en relación con las desviaciones observadas de la máscara, y los resultados deben utilizarse solo para generar inspecciones de seguimiento. La Figura 143 es un ejemplo de una medición de máscara.

FIGURA 143

Simulación detallada de la medición de máscara de espectro como resultado de las mediciones automáticas de ocupación de bandas de frecuencias



4.7.4 *Mediciones de frecuencia*

Un receptor de monitoreo estándar, por lo general, no tiene la capacidad de realizar mediciones de frecuencia muy precisas. La mayor parte de esta inexactitud proviene de los

cambios de temperatura en la ubicación del receptor y la falta de una frecuencia patrón, como un oscilador de referencia de un horno controlado. En la mayoría de los casos no se cuenta con un verdadero contador de frecuencia, sino que se utiliza una solución similar, lo cual conduce a una configuración de medición de frecuencia relativamente inestable.

Una fuente de frecuencia estable externa en la misma banda de frecuencias de la señal de prueba es una manera de realizar las mediciones indicadas; puede ser un transmisor de radiodifusión estable o una fuente de referencia local, como la frecuencia patrón derivada de un GPS. La calibración se debe realizar antes de cada una de las mediciones más importantes. Los resultados tendrán una gran incertidumbre de medición y solo se podrán utilizar para generar inspecciones de seguimiento.

4.7.5 *Mediciones de tendencia*

La precisión absoluta de una medición de E.R.P., a través de mediciones de la intensidad de campo desde estaciones remotas, es aproximadamente de 5dB. Para propósitos de inspección, esta es una medición indicativa útil. Para el trabajo previo a la inspección, una medición como esta tiene más sentido si las mediciones se realizan en intervalos regulares y se comparan con datos históricos. Este tipo de medición se conoce como “medición de tendencia”.

De todas las mediciones se calcula el valor medio de la intensidad de campo y se guarda en un archivo, que se utiliza para producir los gráficos que presentan las tendencias históricas.

Teniendo en cuenta el ejemplo de la Figura 143, se puede determinar que a partir de la medición 29 el transmisor ha aumentado su potencia. Si esto está de acuerdo con las condiciones de la licencia, entonces es aceptable, de lo contrario, el valor medido que sobrepasa el máximo podría generar una inspección en sitio.

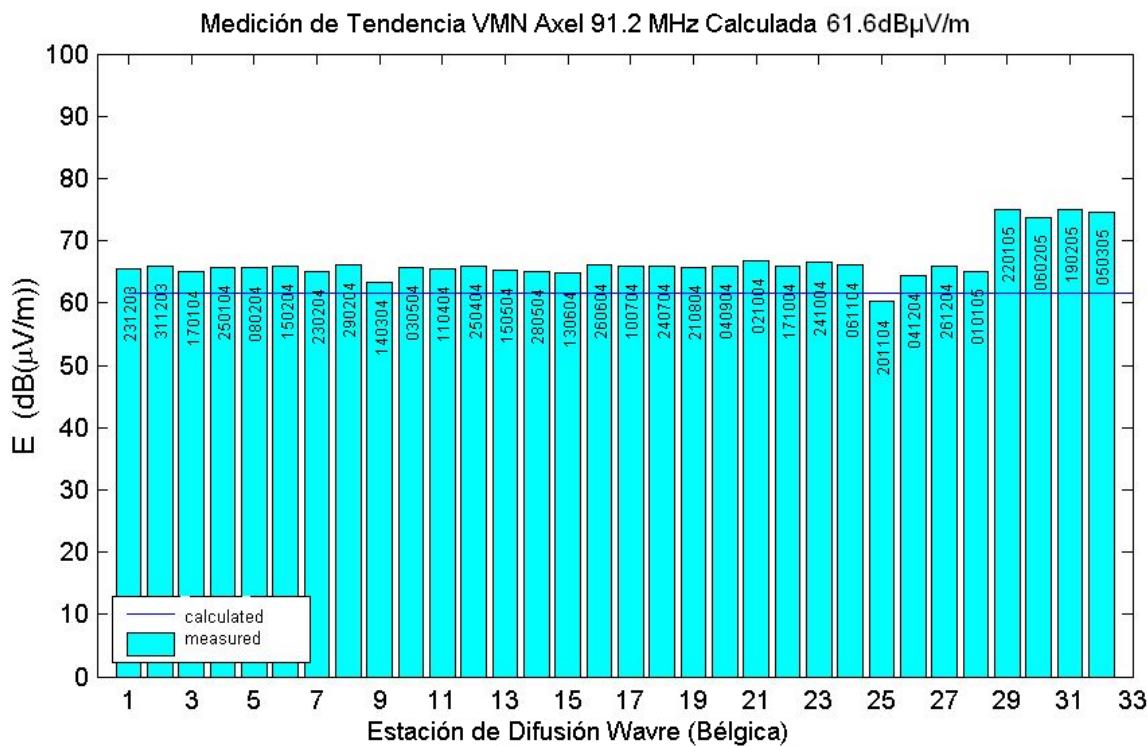
Cada una de las barras en la Figura 144 es el resultado de una medición en 24 horas. La línea azul muestra el valor teórico.

4.7.6 *Comparación de las medidas de intensidad de campo con valores calculados*

Las estaciones de monitoreo son, según lo dicho, relativamente imprecisas cuando se trata de medir la intensidad de campo y la frecuencia; sin embargo, las tendencias y los valores relativos de medición pueden determinarse bastante bien.

FIGURA 144

Medición de tendencia desde estación de monitoreo remoto “axel”



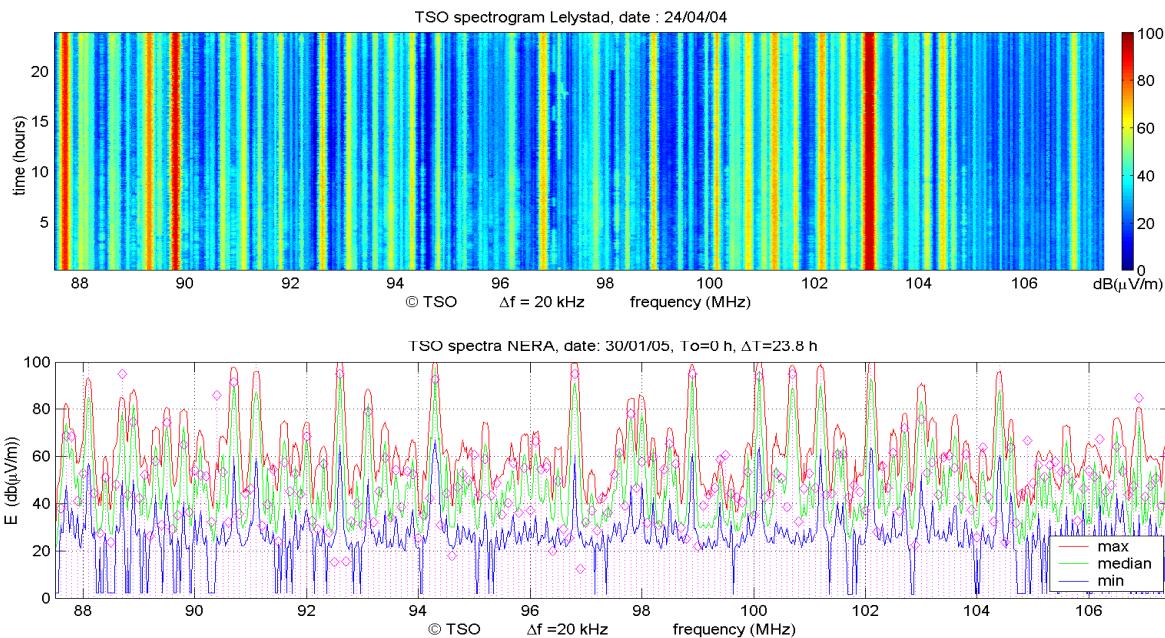
En este ejemplo práctico, los datos de una medición en la banda de frecuencias 87.500-107.500 MHz (107.480) se convierten en dos gráficos. Uno es un espectrograma común y el otro muestra los datos procesados con valores mínimos/medios y máximos. Para ambos gráficos se utilizan los mismos datos. Los gráficos de largo plazo (24 horas) muestran con razonable precisión el apagado y encendido de las estaciones, y la intensidad de campo principal.

En cada canal de 100 kHz se ha graficado un punto mínimo/medio y máximo y una línea rosada con un rombo en la parte superior, para representar el valor teórico calculado obtenido a partir de una herramienta de planificación. El valor calculado se puede derivar de la distancia del transmisor a la estación de monitoreo y el valor de E.R.P. permitido en la licencia utilizando el modelo de planificación apropiado. Esto permite al usuario comparar entre las intensidades del campo medidas y las previstas en la licencia.

Para estimar los efectos de la variación del tiempo de la señal, se produce un gráfico a lo largo de 24 horas, donde se muestra el valor teórico calculado con una línea de puntos y un gráfico de la distribución durante el mismo periodo. El gráfico coloreado representa el promedio de movimiento del canal bajo prueba y los canales adyacentes.

FIGURA 145

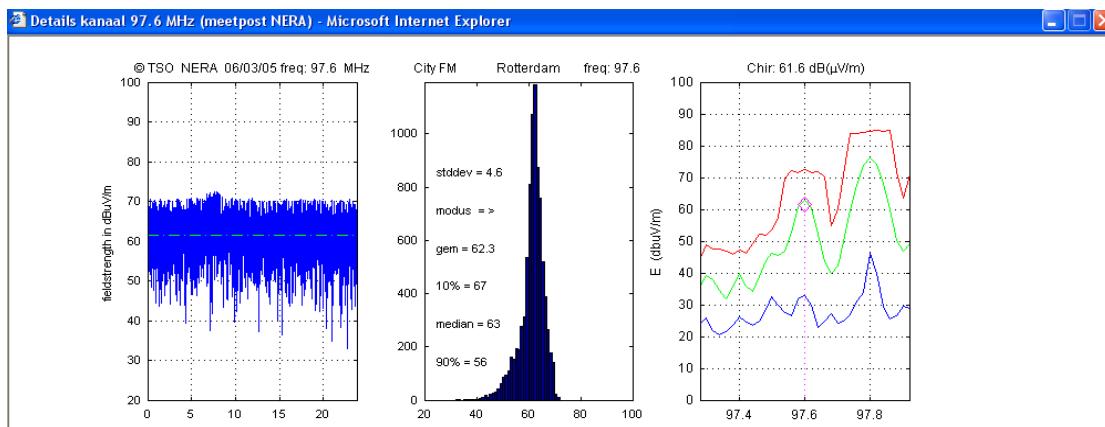
Espectrograma y punto min/med/max incluyendo valores calculados



Esta información se utiliza por dos razones: La primera es la estabilidad del sistema de monitoreo. Las variaciones en valores medidos de una señal de referencia se pueden utilizar para tener una idea sobre la máxima precisión alcanzable. La segunda razón es la variación real de la señal medida debido a la propagación que también influencia la precisión.

FIGURA 146

Intensidad de campo en el tiempo, distribución y espectro



Gráficos como los anteriores están disponibles para todos los canales en cada estación remota, pero, para acceder a esta información se requiere una herramienta de gestión que se diseña alrededor de una interfaz web. El gráfico de la derecha en la Figura 146 muestra la interfaz, la cual tiene la forma de un espectrograma.

4.8 Plan anual de inspección

Para llevar a cabo todas las inspecciones de la forma más eficiente posible es necesario hacer un inventario de las inspecciones planeadas, relacionando los servicios y tipos de inspecciones que se desarrollarán.

Por esta razón, es necesario desarrollar un plan anual de inspección, que contenga una reseña del tipo de inspección, comparada con el tipo de estación, y el calendario para las inspecciones.

Un ejemplo abreviado de la estructura de un programa de inspección y priorización de las decisiones se muestra abajo, para ilustrar cuántos de los factores anteriormente discutidos pueden aplicarse:

Pautas administrativas para la planificación de inspecciones⁷

- 1) Inspeccionar por lo menos el 40% de las estaciones de radio base para los servicios móviles personales (MPS), sistemas de acceso troncalizado y radiolocalización.
- 2) Inspeccionar por lo menos el 40% de los transceptores usados por las redes de telefonía pública commutada (PSTN) y SMP.
- 3) Inspeccionar por lo menos el 50% de las estaciones fijas y móviles de los servicios de radio taxi.
- 4) Inspeccionar el 100% de los servicios de investigación científica.
- 5) Inspeccionar por lo menos el 40% de las estaciones terrenas satelitales.
- 6) Inspeccionar el 100% de las estaciones autorizadas para los servicios fijos y móviles cuyas licencias hayan expirado o expiren en el año en curso.
- 7) Inspeccionar por lo menos el 60% de los parámetros técnicos de estaciones fijas y móviles.
- 8) Lograr, en un máximo de 30 días antes de otorgar una licencia, la inspección de estaciones nuevas o modificadas.

⁷ Estas pautas están definidas como las mínimas recomendadas. Sin embargo, pueden revisarse periódicamente de acuerdo con las decisiones de la administración de gestión del espectro radioeléctrico

- 9) Inspeccionar o verificar, para determinar si pueden continuar operando, por lo menos el 40% de todas las estaciones cuyas licencias hayan expirado o hayan sido retiradas del sistema de base de datos nacional.
- 10) Terminar con las operaciones, en un máximo de 45 días, de proveedores que operan sin licencias.
- 11) Inspeccionar trimestralmente por lo menos diez compañías que fabriquen, distribuyan o comercialicen productos de telecomunicaciones sujetos a certificación obligatoria.

En este ejemplo, se puede observar que se han tenido en cuenta algunos de los elementos de las categorías citadas anteriormente, y que algunos de los factores pueden basarse en las regulaciones de una administración, las políticas de gobierno y los resultados de inspecciones anteriores. En general, las pautas deben ser evaluadas y ajustadas anualmente, con base en los resultados de los programas de inspección del año anterior.

Además, en el ejemplo anterior podemos ver que los tamaños de muestra son diferentes para diversas categorías de estaciones. Esto puede deberse a varios factores, incluyendo el número de estaciones autorizadas por servicio, históricos de inspección o las metas o políticas de la administración para el tipo de servicio de radiocomunicaciones específico.



CAPÍTULO 5

USO ILEGAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

5.1 Introducción

Según lo indicado anteriormente en este documento, es responsabilidad del organismo gestor mantener el espectro radioeléctrico disponible libre de interferencia, en la mayor medida posible, para sus usuarios autorizados.

El uso ilegal del espectro radioeléctrico es un uso no previsto y constituye una de las razones de interferencia para sus usuarios. Por lo tanto, el organismo gestor debe tomar suficientes medidas contra el uso ilegal del espectro, realizando en forma regular actividades de vigilancia. El organismo gestor debe tomar las medidas necesarias para proteger la realización de las mediciones y aplicar procedimientos. Este capítulo describe cómo ocuparse del uso ilegal del espectro radioeléctrico y la importancia de la cooperación efectiva con otras autoridades gubernamentales en caso de que el equipo ilegal tenga que ser confiscado. También se discute en este capítulo la organización de campañas del espectro radioeléctrico.

5.2 Vigilancia del espectro radioeléctrico

El plan anual de monitoreo e inspección indica que las bandas de frecuencias se deben investigar regularmente para determinar el uso ilegal. A partir de este plan se genera un cronograma de medición para las actividades de monitoreo (OMP, ver Capítulo 2) en el que se detallan los tiempos en que ciertas bandas deben ser monitoreadas para determinar un

possible uso ilegal. Este tipo de monitoreo es la manera por defecto de supervisar el uso ilegal.

El organismo gestor fija la banda de frecuencias para el monitoreo normal del uso ilegal. Normalmente, todas las estaciones de monitoreo fijas investigan la banda, de tal forma que se pueda obtener una descripción a escala nacional.

Basándose en los informes de las diferentes estaciones regionales se podrá decidir qué banda de frecuencias será monitoreada en una región específica.

La información obtenida durante el monitoreo regular realizado en el pasado y durante el cual se identificó el uso ilegal, se puede utilizar como información preliminar para nuevas actividades de seguimiento que se incluirán en el plan de monitoreo operacional. Este uso ilegal se pudo haber identificado durante:

- El análisis de los resultados de las mediciones automáticas de ocupación de bandas de frecuencias, de acuerdo con la Recomendación UIT-R SM.1809 [7] y los resultados del monitoreo manual (el monitoreo manual es paralelo al monitoreo automático y tiene el objetivo de identificar las emisiones que se miden durante las mediciones automáticas).
- Las mediciones automáticas de ocupación del canal de frecuencias (FCO) según la Recomendación UIT-R SM.1536 [43] o ITU-R SM.1793 [44] se pueden utilizar para realizar regularmente mediciones en "canales libres". Si se ha medido alguna ocupación donde no se esperaba ocupación alguna, esta información podría también ser utilizada.
- Los resultados periódicos de FCO a través de la Recomendación UIT-R SM.1793 [44] se pueden utilizar en caso de que un canal medido demuestre que se mide a más de un usuario, mientras que la base de datos de licencias muestra que solo un usuario está autorizado.
- Los resultados del monitoreo técnico de emisiones nacionales (inspección remota) puede ser una alerta para el monitoreo de transmisiones no autorizadas en caso de que la intensidad de campo en ciertos canales sea superior a la intensidad de campo teórico.

Con base en la información obtenida durante un proyecto especial sobre el uso ilegal, el monitoreo normal, de acuerdo con el cronograma de monitoreo, no se llevará a cabo, y los procedimientos para proyectos especiales se seguirán, de acuerdo con las instrucciones del líder del proyecto del organismo gestor.

De los resultados obtenidos en el monitoreo periódico sobre el uso ilegal, de acuerdo con el calendario de medición, el organismo gestor podrá organizar campañas especiales nacionales o regionales sobre el uso ilegal en una región.

Dependiendo de los detalles en el plan de monitoreo y la situación real con respecto al uso no autorizado del espectro radioeléctrico, el enfoque podría ser:

- El personal de todas las estaciones de monitoreo regional investiga la banda de frecuencias mencionada en el cronograma de monitoreo, utilizando todas las estaciones de monitoreo fijas disponibles, para observar la banda de frecuencias.
- La investigación del uso no autorizado es apoyada por mediciones automáticas, utilizando UIT-R SM.1809 [43], de todas las estaciones fijas, lo que aumentará sustancialmente la calidad y rapidez de la identificación.
- El monitoreo puede ser apoyado por las unidades móviles que también pueden observar el espectro radioeléctrico; las unidades móviles pueden ser informadas por la estación fija de monitoreo regional cuando esta detecta las transmisiones no autorizadas.

Es importante realizar un monitoreo periódico sobre el uso no autorizado en el ámbito regional o nacional. Es importante tener en cuenta que no habrá otras mediciones automáticas de la ocupación de la banda de frecuencias, ni monitoreo manual periódico de emisiones no autorizadas en las estaciones de monitoreo fijas involucradas en el caso de proyectos especiales a escala regional o nacional.

Datos históricos

Lo que ya se ha observado en el pasado, incluyendo todos los parámetros técnicos, es de gran valor para el proyecto; esto ayudará al personal de monitoreo en la identificación de estaciones observadas y evitará la duplicación del trabajo.

Antes de comenzar el monitoreo real se deben extraer todos los datos disponibles sobre uso ilegal de la base de datos principal de monitoreo. Todos los resultados deberán almacenarse en un archivo y estar disponibles en una pantalla cerca del receptor para ser utilizados en un día específico. Estos resultados se recogen durante el monitoreo manual y técnico periódico, así como los resultados de campañas anteriores.

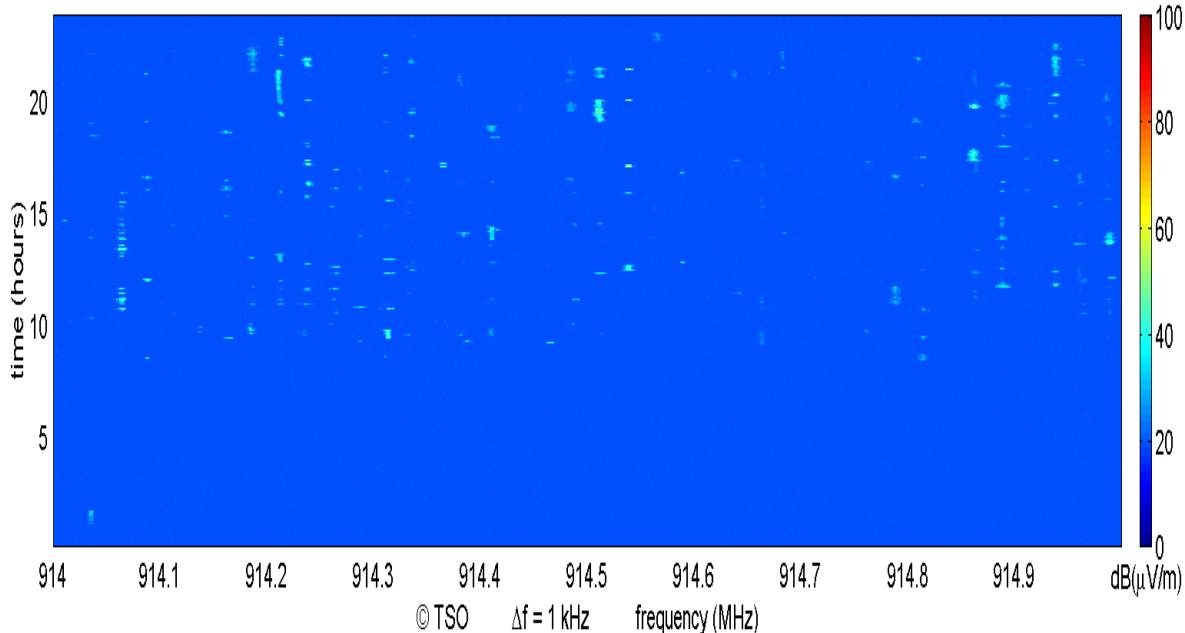
Las transmisiones observadas en la Figura 147 son tomadas de teléfonos inalámbricos, la mayoría de ellos ilegales. Sin los registros automáticos periódicos de la banda de frecuencias no sería posible enterarse de la existencia de estas estaciones.

Paralelamente al monitoreo manual de las estaciones fijas dotadas y unidades móviles de monitoreo, también deben ser aplicados registros automáticos de la banda de frecuencias, según la Recomendación UIT-R SM.1809 [7]. Estas mediciones deben comenzar normalmente en 00.00 horas y, por supuesto, proporcionarán la información sobre uso ilegal cuando no hay personal disponible.

FIGURA 147

Registros de la medición automática de bandas de frecuencias de teléfonos inalámbricos ilegales

TSO spectrogram Groningen, date : 02/12/04



Los técnicos de monitoreo en las estaciones de monitoreo regionales recogen toda la información disponible relacionada con el uso ilegal observado en el pasado, y comienzan a monitorear la banda de frecuencias correspondiente a fin de identificar las estaciones ilegales. Los técnicos de monitoreo comparan lo que se observa en ese momento con la información ya existente. Las prioridades tienen que ser fijadas para aquellas emisiones con mayor actividad y aquellas con una mayor potencia emitida.

En caso de que un vehículo de monitoreo móvil (MMV) esté disponible en las inmediaciones de la señal observada, y se encuentra disponible para asistir, se solicita para localizar la emisión ilegal.

El MMV recoge todos los parámetros técnicos e información relacionados con la ubicación y los almacena en la base de datos, para ser fusionados posteriormente con la base de datos principal de monitoreo.

Debido a la altura de la antena, el área de cobertura de la estación de monitoreo fija es más grande que el área de cobertura de un MMV. Cuando la estación de monitoreo fija observa una estación ilegal, la estación de monitoreo regional respectiva contacta el MMV más cercano, para proporcionar la información (frecuencia, localización, etc.), y dirigir el MMV hacia esa zona, en caso de que el MMV no pueda observar la emisión indicada. El personal de monitoreo en la estación de monitoreo fija continúa observando la estación de radio ile-

gal; en caso de que las emisiones se detengan, el MMV es informado de que la estación ilegal ya no está transmitiendo, para que detenga su trabajo sobre la situación ilegal.

Una vez que se localiza la estación ilegal, el MMV informa sus resultados a la estación de monitoreo fija e indica que está listo y disponible para una mayor investigación en otras estaciones.

Al final del monitoreo (aplicable a los tres tipos de monitoreo sobre el uso ilegal, según el cronograma de monitoreo o por medio de proyectos especiales), todos los datos se reúnen en la estación de monitoreo regional y todas las observaciones se combinan con la base de datos principal de monitoreo.

Los resultados del monitoreo se analizan y reportan a la dependencia competente, del organismo gestor, preferiblemente en formato digital, a fin de que allí se tomen las decisiones y acciones posteriores pertinentes.

5.3 Cooperación con otras autoridades gubernamentales

En general, las personas no autorizadas por la ley no pueden confiscar los equipos ilegales. En el caso de Colombia, la Ley 1341 de 2009, en el parágrafo del artículo 64, define qué se entiende por uso ilegal del espectro radioeléctrico, cuándo puede ser confiscado el equipo y quién puede hacerlo.

La asistencia de las autoridades militares y policiales, en coordinación con el organismo gestor, es requerida para confiscar el equipo y eliminar el uso ilegal. Con el fin de lograr la máxima eficiencia en la realización de estas actividades, es de suma importancia que el organismo gestor desarrolle buenos métodos de comunicación y flujo de información precisa, de modo que pueda coordinar la confiscación del equipo ilegal con las autoridades militares y de policía.

5.4 Campaña sobre el uso ilegal

Con base en la información recogida a partir del análisis de las interferencias reportadas, y las medidas de FBO, así como en información adicional sobre el uso ilegal, el organismo gestor puede considerar la necesidad de organizar campañas a escala nacional o regional para identificar y localizar más casos de uso ilegal, lo que permite la eliminación del uso ilegal mediante una acción.

Por ejemplo, es importante saber si el uso ilegal se ha propagado geográficamente en el país o si se trata de un fenómeno regional solamente.

En caso de que se realice una campaña a escala nacional, se debe organizar un proyecto especial. Dependiendo del caso específico, el proyecto puede ser dirigido por un líder de las estaciones de monitoreo regionales, siempre y cuando estos funcionarios cuenten con un conocimiento detallado de la situación bajo análisis en la región.

El líder del proyecto debe preparar un plan de trabajo que incluya todos los elementos necesarios para dicho plan, incluyendo un cálculo de todos los gastos necesarios para el desarrollo del proyecto y definir las necesidades más importantes en cuanto a instalaciones disponibles y personal. Para el cálculo de costos se debe tener en cuenta:

- Transporte
- Viajes
- Horas extras de trabajo del personal participante
- Otros costos
- Instalaciones y personal adicionales

5.5 Confiscación de equipo ilegal

La Ley 1341 de 2009 define cuándo el equipo ilegal puede ser confiscado y cuando no. Para confiscar un equipo ilegal las reglas generales son las siguientes:

- La confiscación de equipos se permite cuando sean detectados y localizados por funcionarios de la ANE.
- La confiscación del equipo ilegal no se permite cuando ha sido identificado pero no se ha utilizado.

Resulta claro que, para una campaña eficiente y efectiva contra el uso ilegal, el organismo gestor llevará a cabo mediciones de FBO, con el fin de tener suficiente información sobre las frecuencias que están siendo ocupadas por los usuarios ilegales. Las estaciones de monitoreo móviles ayudarán a localizar estas transmisiones. Luego de tener suficiente información sobre un tipo específico de uso ilegal, las autoridades responsables (militares y policía) pueden confiscar el equipo ilegal.



CAPÍTULO 6

MANEJO DE INTERFERENCIA

6.1 Introducción

Este capítulo describe cómo manejar interferencias, reportadas nacional o internacionalmente. Se presentarán indicadores de calidad de servicio (QSI), que tienen el fin de mejorar la calidad del proceso de manejo de interferencias. Además, se proporcionará orientación para corregir aquellas situaciones de incumplimiento con las condiciones estipuladas en las licencias.

6.2 Organización para el manejo de interferencias

Es responsabilidad del organismo gestor organizar el manejo de interferencias reportadas nacional e internacionalmente, de manera tal que puedan ser resueltas con prontitud. Por esta razón, el organismo gestor debe desarrollar la legislación necesaria (por ejemplo, fijar multas y otras sanciones administrativas) y los procedimientos para resolver los reportes de interferencias.

Se aconseja el uso de tecnologías de la información modernas, a fin de brindar a los usuarios del espectro radioeléctrico la posibilidad de reportar las interferencias a través de las páginas web del organismo gestor. En dichas páginas debe ser posible descargar el formato correspondiente y subirlo o enviarlo a la dirección que disponga el organismo gestor.

La organización interna de la administración debe estructurarse de tal manera que sea posible la resolución eficiente y efectiva de la interferencia. Asumiendo que el horario de trabajo de las estaciones de monitoreo sea de las 08.00 horas a las 17.00 horas únicamente. En caso de que se reporte una interferencia sobre una frecuencia de emergencia se debe disponer de un miembro del personal de monitoreo en servicio de alerta, para poder responder al reporte dentro de un cierto periodo de tiempo. Lo anterior debe hacerse con base en los tiempos de respuesta acordados en la tabla de indicadores de calidad de servicio (ver Tabla 42).

6.3 Directrices para la resolución de interferencia perjudicial nacional

Después de haber recibido un informe de la interferencia, se debe llevar a cabo un análisis completo del tipo de interferencia, para decidir sobre las acciones que se deben tomar. Por esta razón, es necesario establecer directrices en cuanto al tipo de información que debe recolectarse antes de iniciar la resolución de interferencias.

En la sección de monitoreo de la base de datos central hay diversas fuentes de información disponibles para el análisis, con el fin de decidir qué tipo de acción se necesita.

Adicionalmente, para el manejo de la interferencia se debe aplicar el siguiente principio: “Lo que se puede hacer, utilizando los equipos e instalaciones de la estaciones de monitoreo (fijas y/o remotas), no lo deben hacer las estaciones de monitoreo móviles”.

Para lograr que el trabajo se realice de la manera más eficiente y efectiva posible, es aconsejable invertir más tiempo resolviendo un caso de interferencia con las instalaciones fijas (remotas), que conducir un MMV (en ocasiones) cientos de kilómetros para obtener el mismo resultado.

Esto significa que en las estaciones de monitoreo fijas regionales todo el personal debe tener acceso a todos los datos relevantes relacionados con el uso de frecuencias, incluidos en el registro nacional de frecuencias, la base de datos de monitoreo y otra información pertinente disponible, y poder ponerse en contacto con los titulares de las licencias vía telefónica.

En caso de concluir que la interferencia no puede resolverse de esta manera, por ejemplo, debido a que la interferencia no puede ser identificada o la fuente de interferencia está fuera del rango de cobertura de la red de estaciones fijas (remotas) de monitoreo, se puede buscar la ayuda de un MMV, para identificar y localizar la interferencia.

Después de haber eliminado la interferencia, se aconseja enviar un informe a la parte denunciante indicando que la interferencia reportada fue resuelta.

6.4 Pautas para la resolución de la interferencia perjudicial internacional

De manera similar a las interferencias nacionales reportadas, el organismo gestor debe definir la dirección de contacto para recibir los reportes de interferencia que provengan de fuera de Colombia, asegurándose de que esta información sea clara para el público. Estos reportes son, en su mayoría, enviados por países extranjeros o por la UIT. El formato para el reporte de interferencia es, la mayoría de las veces, un reporte de interferencia perjudicial, como se muestra en el Reglamento de Radiocomunicaciones [17] Apéndice 10. En el formato de este apéndice se incluye información sobre la autoridad que reporta, detalles de la transmisión afectada y detalles de la estación interferente. Una vez diligenciado, este documento se envía al país responsable por la transmisión de la estación interferente, con una petición de que se tomen las medidas adecuadas para detener la interferencia.

Se recomienda dar alta prioridad a los casos de interferencia perjudicial reportados a Colombia, o causados por una transmisión en otro país, pero que afectan una emisión en Colombia.

6.5 Indicadores de la calidad de servicio (QSI)

Es objetivo de todas las organizaciones de gestión del espectro que el espectro radioeléctrico se mantenga libre de interferencias, en la medida de lo posible, por lo que se debe actuar con prontitud y eficiencia cuando se presenta alguna.

En la mayoría de los casos reportados, las interferencias se clasifican con base en las siguientes categorías:

- Reportes de interferencia que pueda poner en riesgo la seguridad y salvaguarda de la vida.
- Reportes de interferencia a sistemas críticos de radiocomunicaciones gubernamentales.
- Reportes de interferencia a otros sistemas de radiocomunicaciones gubernamentales.
- Reportes de interferencia a sistemas/negocios profesionales.

- Otros reportes de interferencia como, por ejemplo, aquellos reportados por los radioaficionados.

El organismo gestor debe demostrar a los usuarios del espectro radioeléctrico que se están tomando las medidas y resolviendo los casos de interferencia lo más rápidamente posible. Esto puede hacerse mediante la introducción de los llamados indicadores de calidad de servicio (QSI), que deben estar disponibles en el sitio web del organismo gestor (un ejemplo de estos QSI se muestra en la Tabla 42).

Por supuesto que es decisión del organismo gestor establecer el orden de prioridad y tiempos objetivo para estos QSI, pero se recomienda implementar y fomentar el principio de calidad en el servicio en el país.

Los tiempos de respuesta a una interferencia reportada deberán ser analizados anualmente y de ser necesario se deberán tomar las medidas necesarias para mejorar los objetivos.

Debe quedar claro que la resolución de interferencia se debe hacer en una forma eficiente y efectiva. Para poder trabajar de la manera más eficiente y efectiva posible, por ejemplo, es aconsejable gastar más tiempo tratando de resolver un caso de interferencia con las instalaciones fijas (remotas), que conducir un MMV (en ocasiones) cientos de kilómetros para obtener el mismo resultado.

Esto significa que en las estaciones de monitoreo fijas regionales todo el personal debe tener acceso a todos los datos relevantes relacionados con el uso de frecuencias, incluidos en el registro nacional de frecuencias, la base de datos de monitoreo y otra información pertinente disponible, y poder ponerse en contacto con los titulares de las licencias vía telefónica.

En caso de concluir que la interferencia no puede resolverse de esta manera, por ejemplo, debido a que la interferencia no puede ser identificada o la fuente de interferencia está fuera del rango de cobertura de la red de estaciones fijas (remotas) de monitoreo, se puede buscar la ayuda de un MMV, para identificar y localizar la interferencia.

6.6 Medidas correctivas

Con el fin de mantener el control sobre el uso correcto del espectro radioeléctrico, se debe realizar un procedimiento para la aplicación de medidas correctivas. Esto se conoce como el régimen de sanciones y debe siempre basarse en las disposiciones de la Ley 1341 de 2009. Ver también la sección 6.2.

TABLA 42

Ejemplo de los indicadores de la calidad de servicio (QSI)

Categoría (véase la Nota 1 abajo)	Identificador del QSI	Etapa (véase la Nota 2 abajo)	Objetivo del QSI
Servicios para la seguridad de la vida	QSI1A QSI 1B QSI 1C	Cliente Enlace/validación Investigación Cierre (duración total del caso)	100% en el transcurso de dos horas 100% en el transcurso de 20 horas 100% en el transcurso de dos días laborables
Servicios gubernamentales críticos	QSI 2A QSI 2B	Cliente Enlace/validación Investigación	100% en las siguientes 12 horas 100% en las siguientes 24 horas
Otros servicios gubernamentales	QSI 3A QSI 3B	Cliente Enlace/validación Investigación	100% en un día de trabajo 100% dentro de cinco días laborables
Sistemas de negocios profesionales	QSI 4A QSI 4B	Cliente Enlace/validación Investigación	100% dentro de tres días hábiles 100% dentro de cinco días hábiles
Otros servicios	QSI 5A QSI 5B	Cliente Enlace/validación Investigación	100% dentro de cinco días hábiles 100% dentro de siete días hábiles

Nota 1: Descripciones de la categoría del caso:

La seguridad de la vida (Cat. 1) - interferencia significativa a un servicio de radio que podría comprometer seriamente la seguridad de la vida humana, y no existe forma alguna de comunicación alternativa inmediata.

Servicios críticos (Cat. 2) - interferencia significativa a un servicio de radio que podría comprometer seriamente la prestación de servicios de emergencia/públicos, de protección/de ayuda humanitaria (aunque sin riesgo inmediato a la seguridad de la vida humana), y no existe forma alguna de comunicación alternativa inmediata.

Otros servicios gubernamentales (Cat. 3) - lo mismo que para los servicios gubernamentales críticos, pero donde una red efectiva de comunicaciones alternativa está actualmente disponible.

Negocios/sistemas profesionales (Cat. 4) - interferencia significativa a un servicio de radio que se utiliza para fines comerciales, pero que no se considera un servicio esencial.

Otros servicios (Cat. 5) - interferencia significativa a todos los otros servicios de radio licenciados.

Nota 2: Hay dos fases interinas en el proceso de gestión de casos de interferencia:

Comunicación con el cliente/validación - durante la cual el personal del organismo gestor determina y valida el reporte de interferencia y se comunica con el cliente. También para coordinar la visita investigativa si fuera necesario.

Investigación – durante la cual el personal del organismo gestor investiga y localiza la interferencia, de ser necesario a través de visitas de campo, y toma las medidas correctivas apropiadas.

Una serie de medidas correctivas pueden conducir a un uso correcto del espectro radioeléctrico. Los siguientes pasos pueden ser parte de un régimen de sanciones administrativas:

- Carta confirmando que el usuario ha violado las condiciones de la licencia.
- Si la violación de las condiciones de la licencia no cesa, se envía una segunda carta indicando las consecuencias de continuar infringiendo las condiciones de la licencia, con un plazo específico para dejar de hacerlo (por ejemplo, un mes), esto puede incluir una multa administrativa.
- Si el usuario persiste en la violación de las condiciones de la licencia debe ser notificado, mediante una carta, para que en un periodo determinado de tiempo (dos semanas) remedie la situación pues, de lo contrario, se procederá a cancelar su licencia y a ordenar el decomiso de los equipos sin perjuicio de las demás responsabilidades administrativas o judiciales a que haya lugar.

Las medidas correctivas mencionadas son aplicables para las violaciones administrativas y técnicas de las condiciones de la licencia. Está claro que la ANE debe darle prioridad a la comprobación de la violación de las condiciones de la licencia por parte del usuario. Se entiende que en el proceso de un régimen de sanciones, los funcionarios que firman las cartas, así como quienes indican que un usuario está violando las distintas regulaciones, son los designados para cumplir estas funciones.

Estas tres etapas de violación a las condiciones de la licencia deben darse a conocer de manera transparente a los usuarios del espectro. La mejor manera de hacerlo es a través de la página web del organismo gestor.

LISTADO DE TÉRMINOS Y DEFINICIONES EN INGLÉS

Term	Definition
A/D	Analogue/Digital
AGC	Automatic Gain Control
AM	Amplitude Modulation
AMR	Analogue Microwave Radio
ARQ	Automatic Request
ASK	Amplitude Shift Keying
ATIS	Automatic Transmitter Identification System
ATC	Air Traffic Control
BER	Bit Error Rate
BCCH	Broadcast Control Channel
BR IFIC	ITU BR International Frequency Information Circular (Terrestrial Services).
BSS	Broadcasting Satellite Service
C/I	Carrier-to-Interference
C/N	Carrier-to-Noise Ratio
CAE	Carrier Acquisition Equipment
CAF	Cross Ambiguity Function
CD	Compact Disk
CDMA	Code Division Multiple Access
CFAR	Constant False Alarm Rate
CEPT	European Conference of Postal and Telecommunications Administrations
CIR	Channel Impulse Response
CISPR	International Special Committee on Radio Interference
COFDM	Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex
COTS	Consumer of The Shelf
COMPAS-SARSAT	International Satellite System for Search and Rescue
CPICH	Common Pilot Channel
CPM	Coded Pulse Modulation
CSV	Circuit Switched Voice
CTCSS	Continuous Tone Controlled Signalling System
CW	Continuous Wave
C-band	Frequency band from 4 to 8 GHz
DAB	Digital Audio Broadcasting
DAM	Dynamic Amplitude Modulation
DB	Data Base
DCS	Digitally Coded Squelch

Título V — Monitoreo del espectro radioeléctrico

DF	Direction Finding
DMR	Digital Microwave Radio
DSC	Digital Selective Calling
DSP	Digital Signal Processing
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial
DVD	Digital Video Disc
EHF	Extremely High Frequency Band
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
EPIRP	Emergency Position Indicating Radiobeacons
ERP	Effective Radiated Power
EU	European Union
FBO	Frequency Band Occupancy
FCO	Frequency Channel Occupancy
FDM	Frequency-Division Multiplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDOA	Frequency Division
FFT	Fast Fourier Transform
FM	Frequency Modulated,
FSK	Frequency Shift Keying
FSS	Fixed Satellite Service
G/T	Figure of Merit
GIS	Geographic Information System
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System
GMSK	Gaussian Minimum Shifting Keying
GPIB	General Purpose Interface Bus
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile
GSO	Geo-Stationary Orbit for Earth Satellites
GUI	Graphical User Interface
HCM	HCM Agreement, Vilnius, 2005. On the co-ordination of frequencies between 29.7 MHz and 39.5 GHz for the fixed service and the land mobile service
HF	High Frequency range, i.e. the frequency band 3 – 30 MHz
HTML	Hyper Text Mark-up Language
ICHIRP	International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection
IF	Intermediate Frequency
IFM	Instantaneous Frequency Measurement
IM	Inter-Modulation
ININC	International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection
IRPA	International Radiation Protection Association
ISB	Independent Sideband Modulation
ITU	International Telecommunications Union
ITU-R	Radiocommunications sector of ITU
ITU-T	Telecommunications sector of ITU
Ka-band	Frequency band from 26.5 to 40 GHz

Ku-band	Frequency band from 12 to 18 GHz
LAN	Local Area Network
LEO	Low Earth Orbit
LNA	Low Noise Amplifier
LOS	Line-of-Sight, i.e. the condition of direct unobstructed visibility between transmitting and receiving points
LXI	Lan Extension for Instrumentation Standard
L-band	Frequency band from 1 to 2 Ghz
MDA	Modulation Domain Analyser
MID	Maritime Identification Digit
MMSI	Maritime Mobile Service Identities
MMV	Mobile Monitoring Vehicle
MOM	Method of Moments
MRCF	Maximum Rate of Change of Frequency
MSK	Minimum Shift Keying
MSS	Mobile Satellite Service
MUF	Maximum Useable Frequencies, as relevant to propagation of radio waves in HF band
MUSIC	Multiple Signal Classification
N/I	Noise-to-Interference Ratio
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBDP	Narrow Band Direct Printing
NIR	Non-Ionizing Radiation
OBP	On-Board Processing
OMP	Operational Monitoring Plan
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OSI	Open Systems Interconnection (ISO Interface Specifications)
PC	Personal Computer
PCI	Programmable Communication Interface
PFD	Power Flux Density
PM	Phase Modulation
PMR	Private Mobile Radio
POCSAG	Post Office Code Standardization Advisory Group
PSD	Power Spectral Density
PSK	Phase-Shift Keying
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying
QSA	Quality of Signal (What is the strength of my signals (or those of...)?)
QSI	Quality of Service Indicators
RBW	Resolution Bandwidth
RF	Radio Frequency (Part), e.g. The modulation and transmission part of radio transmitter design
RFID	Radio Frequency Identification

Título V — Monitoreo del espectro radioeléctrico

RLAN	Radio Local Area Network, e.g. the implementation of IEEE 802.11 standard
RMS	Root Mean Square
ROM	Read Only Memory
RR	ITU Radio Regulations, inter-governmental treaty governing the use of radio-communications
RRC	Root Raised Cosine
RTTY	Radioteletype
S/N	Signal-to-Noise Ratio
SA	Spectrum Analyser
SEAMCAT	Spectrum Engineering Advanced Montecarlo Analysis Tool
SELCAL	5-Tone Selective Calling
SHF	Super High Frequency
SINAD	Signal Plus Noise Plus Distortion to Noise Plus Distortion Ratio
SNR	Signal to Noise Ratio
SPD	Spectral Power Density
SRD	Short Range Devices, i.e. device for radiocommunications over short distances (typically few meters)
SSA	Statistical Spectrum Analysis
SSB	Single Side Band
S-band	Frequency band from 2 to 4 Ghz
TCA	Time of Closest Approach
	Terminal Doppler Weather Radar - Tdwr
TDOA	Time Difference of Arrival
T-DAB	Terrestrial Digital Audio Broadcasting
TDM	Time Division Multiplex
TDMA	Time Division Multiple Access
T-DMB	Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting
TDWR	Terminal Doppler Weather Radar
TETRA	Trans European Trunked Radio
TLE	Two Line Elements
TV	Television
TWT	Travelling Wave Tubes
UHF	Ultra High Frequency Range, i.e. the frequency band 300 MHz – 3 GHz
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UTC	Coordinated Universal Time
UHF	Ultra High Frequency Range, i.e. frequency band 300 MHz tot 3 GHz
VHF	Very High Frequency Range, i.e. the frequency band 30 – 300 MHz
VOR	VHF Omni Directional Range
VSB	Vestigial Side Band
VXI	VME Extensions for Instrumentation
WHO	World Health Organization

BIBLIOGRAFÍA PARA LECTURA ADICIONAL

Relacionados con mediciones de ocupación

1. HAGN, G. H., STEHLE, R. H. and HAMISH, L. O. [June 1988] Shortwave Broadcasting Band Spectrum Occupancy and Signal Level in the Continental United States and Western Europe. *IEEE Trans. on Broad.*, Vol. 34, No. 2, pp. 115-125.
2. GOTTFRIED, G. F., WONG, N. F. and DUTTA, S. [1982] Occupancy Measurements Across the Entire HF Spectrum. Proc. of AGARD Conference on Propagation Aspects of Frequency Sharing, Interference, and System Diversity, Paris, France.
3. WONG, N. F., GOTTFRIED, G. F. and BARCLAY, L. W. [1985] Spectral Occupancy and Frequency Planning. *Proc. IEE*, Part F, Vol. 132, No. 7.
4. LAYCOCK, P. J., MORRELL, M., GOTTFRIED, G. F. and RAY, A. R. [April 1988] A Model for HF Spectral Occupancy. Proc. of 4th International Conference on HF Radio Systems and Techniques, IEE Conference Publication 284, Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom, pp. 165-171.
5. STEHLE, R. H. and HAGN, G. H. [July-August 1991] HF Channel Occupancy and Band Congestion: The Other-User Interference Problem. *Radio Sci.*, Vol. 26, No. 4, pp. 959-970.

Relacionados con mediciones de modulación

1. Application Note 150-1 [2001] Spectrum Analyser Amplitude and Frequency Modulation. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at <http://www.agilent.com/>.
2. BLUE, K., et al. [December 1993] Vector Signal Analysers for Difficult Measurements on Time-Varying and Complex Modulated Signals. *Hewlett-Packard J.*, Vol. 44, pp. 6-47.
3. BUES, D. and RIEDEL, P. [1993] Planning Digital Radio Networks using Impulse Response Analyser PCS and Test Transmitter System. *News from Rohde & Schwarz*, No. 141, pp. 26-27.
4. EVERSON, C. [1991] Communications & Spectrum Analyser FSAD and FSBC. *News from Rohde & Schwarz*, No. 134, pp. 11-13.
5. RIEDEL, P. [1991] TS 9955 Measures Channel Impulse Response in GSM radio networks. *News from Rohde & Schwarz*, No. 137, pp. 12-14.
6. STOKKE, K. N. [April 1986] *EBU Rev. Techn.*, No. 216, pp. 81-87.
7. WOLF, J. [1992] Field Strength Measurements in DAB Network with Test Receiver ESVB. *News from Rohde & Schwarz*, Vol. 139, pp. 22-23.

8. WOLF, J. [1993] Test Receivers ESN and ESVN: Top-rounders for Signal and EMI Measurements. *News from Rohde & Schwarz*, No. 141, pp. 11-13.

Relacionados con mediciones de intensidad de campo

1. CHAPIN, E. W. [1958] Field Strength Measurements. L. D. Report 6.3.1. Federal Communications Commission, Office of the Chief Engineer, Washington, DC, United States of America.
2. EVERE, C. H. [1991] Communications & Spectrum Analysers FSAD and FSBC. News from Rohde & Schwarz No. 134, pp. 11 to 13.
3. IEC 597-2 [1977] Areas for the Reception of Sound and Television Broadcasting in the Frequency Range 30 MHz to 1 GHz, Part 2: Methods of Measurement of Electrical Performance Parameters.
4. IEEE Standard 145 [1993] Antenna Definitions.
5. IEEE Standard 211 [1991] Propagation Definitions.
6. IEEE Standard 291 [1991] Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz.
7. IEEE Standard 302 [1969] Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength for Frequencies below 1 000 MHz in Radio Wave Propagation, reaffirmed 1991.
8. IRPA [1991] Guidelines on Protection against Non ionizing Radiation. Pergamon Press Inc.
9. KANDA, M. [October 1993] Standard Probes for Electromagnetic Field Measurements. *IEEE Trans. Ant. and Prop.*, Vol. AP-41, No. 10, pp. 1349-1364.
10. LEE, W. C. Y. [1986] *Mobile Communications Design Fundamentals*. Howard W. Sams & Co., Indianapolis, United States of America, ISBN 0-672-22305.
11. LORENZ, R. W. [March 1979] Theoretical Distribution Functions of Multipath Fading Processes in the Mobile Radio and Determination of their Parameters by Measurements. Technical Report FI 455 TBr 66, FI, FTZ, Deutsche Bundespost, Germany.
12. ROHNER, C. H. and STECHER, M. [1993] Calibration of Antennas for the Measurement of Signals and Interference. News of Rohde & Schwarz, No. 143, pp. 31-34.
13. TAGGART, H. E. [June 1965] Field Strength Calibration Techniques at the National Bureau of Standards. *IEEE Trans. Electro. Comp.*, Vol. EMC-7, pp. 163-169.
14. WOLF, J. [1993] Test Receivers ESN and ESVN: Top Allrounders for Signal and EMI Measurements up to 2 GHz. News from Rohde & Schwarz, No. 141, pp. 11-13.
15. CONSTANTINE A.BALANIS [2005] *Antenna Theory, third edition*. John Wiley & SONS, inc., United States of America, ISBN 0-471-66782-X

Relacionados con mediciones de frecuencia

1. Application Note 150 [2000] Spectrum Analysis Basics. Agilent Technologies, Polo Alto, United States of America, downloadable at <http://www.agilent.com/>.
2. Application Note 243 [2000] The Fundamentals of Signal Analysis. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at <http://www.agilent.com/>.

3. Application Note 1298 [2001] Digital Modulation in Communications Systems – An Introduction. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at <http://www.agilent.com/>.
4. KUSTERS J. A. [December 1996] The Global Positioning System and HP Smart Clock. *Hewlett-Packard J.*
5. Handbook [1997] Selection and use of precise frequency and time systems. International Telecommunication Union, Radiocommunication Bureau, Geneva. ISBN 92-61-06511-2.

Relacionados con análisis de señales

1. Application Note 243 [2000] The Fundamentals of Signal Analysis. Agilent Technologies, Santa Rosa, United States of America, downloadable at [<http://www.agilent.com/>].
2. KOLB, H. -J. [1996] Breitband - Such- und Empfangsanlagen. MEDAV, ISBN 3-9804152-1-X, for more info see <http://www.medav.de/>
3. MARVEN, G. and EWERS, G. [1993] A Simple Approach to Digital Signal Processing. Texas Instruments, ISBN 0-904047-00-8.
4. POULARIKAS, A. D. and SEELY, S. [1985] Signals and Systems. PWS Engineering Boston, ISBN 0-534-03402-0.
5. QUIAN, S. and CHEN, D. [1996] *Joint Time Frequency Analysis*. Prentice Hall, ISBN 0-13-2543842.
6. RABINER, L. R. and GOLD, B. [1975] Theory and Application of Digital Signal Processing. ISBN 0-13-9141014.
7. VAN MAANEN, E. [1998a] Hidden Information in A3E Modulated Broadcasting Transmitters. Dutch Radiocommunications Agency, on request [<mailto:erik.vmaanen@at-ez.nl>].
8. VAN MAANEN E. [1998b] Introduction Cryptography and Signal Analysis in Radiomonitoring. Dutch Radiocommunications Agency, on request [<mailto:erik.vmaanen@at-ez.nl>].

Sobre el monitoreo de emisiones de naves espaciales

1. BENTLEY, R. T., JOHNSON, R. and CASTLES, M. P. [1996] Southwest Research Institute, San Antonio, Texas, United States of America.
2. BUCERIUS, H. and SCHNEIDER, M. [1966] Himmelsmechanik I-II (Sperical Trigonometry I-II); Bd. 143/144, Bibliographisches Institut; Mannheim, United States of America.
3. CAPELLARI, J. O., VELEZ, C. E. and FUCHS, A. J. [1976] Mathematical Theory of the Goddard Trajectory Determination System. Goddard Space Flight Center; Greenbelt, Maryland, United States of America.
4. GOULD, R. G. and LUM, Y. F. [1976] *Communications Satellite Systems: An Overview of the Technology*. IEEE Press.
5. GREEN, R. M. [1985] *Spherical Astronomy*. Cambridge University Press, Cambridge.
6. HARTL, P. *Fernwirkechnik der Raumfahrt (Remote Control in Astronautics)*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.

7. HERTLER, E. and RUPP, H. *Nachrichtentechnik über Satelliten (Telecommunication via Satellite)*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.
8. ITU [1988] Specifications of Transmission Systems for the Broadcasting-satellite Service.
9. ITU-R Handbook – *Satellite Communications*, Third Edition, 2002, Wiley, New York, United States of America.
10. KAISER, W. and LOHMAR, U. [1981] *Kommunikation über Satelliten (Communication via Satellite)*. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo.
11. KOCH, G. [1972] Antennenprobleme beim Weltraumfunk (Problems in designing antennas for space communications). *NTG-Fachberichte*, Vol. 43, pp. 101-123.
12. KRIETENSTEIN, K. [1994] Das Ohr am Orbit, Eine Darstellung von Arbeitsweisen der Funkmeßstelle Leeheim des BAPT (The Ear at Orbit, A Presentation of the Measurement Methods of the Leeheim Monitoring Station for Space Radiocommunication Services of the German Federal Office for Posts and Telecommunications), *telekom praxis*, 8/94, Schiele & Schön GmbH, 10969 Berlin.
13. MAHNER, H. [1970] Telemetrie- und Trackingempfänger für Satelliten-Bodenstationen (Telemetry and tracking receiver for satellite earth stations). *Siemens-Zeitschrift* 44, Special Issue “Beiträge zur Raumfahrt”, pp. 108-112.
14. MIYA, K. [1975] *Satellite Communications Engineering*. Lattice Co., Tokyo, Japan.
15. MOENS, C. and ROESEMS, K. [1974] Nachführ- und Datenempfänger für Bodenstationen von Satellitensystemen (Tracking and data receiver for earth stations of satellite systems). *Elektrisches Nachrichtenwesen*, International Telephone and Telegraph Corporation, Vol. 49, 3, pp. 315-323.
16. ÖHL, H. and GÖSSL, H. [1978] Die Eigenschaften der Antennen der zentralen Deutschen Bodenstation (ZDBS) (Characteristics of the antennas of the Federal Republic of Germany's Central Earth Station (ZDBS)). *Mikrowellenmagazin*, Vol. 4, 1, pp. 10-14.
17. SIEMENS-ZEITSCHRIFT [1970] Beiheft, Beiträge zur Raumfahrt (Papers on Astronautics). Vol. 44.
18. Transmitter Location Systems, LLC [2005] TLS Model 2000 Operation and Maintenance Manual.
19. UNGER, J. W. H. [1976] *Literature Survey of Communication Satellite Systems and Technology*. IEEE Press.
20. WOOD, P.J. [1980] *Reflector Antenna Analysis and Design*. Peter Peregrinus Ltd., Stevenage, United Kingdom.

Relacionados con el monitoreo de enlaces de microondas y enlaces satelitales ascendentes

1. FERNÁNDEZ E. and MATHIEU M. [1991] *Les faisceaux hertziens analogiques et numériques*, Éd. Dunod. Paris.
2. DU CASTEL [1961] *Propagation troposphérique et faisceaux hertziens transhorizons*. Ed. Chiron, Paris.
3. VERRE J. [1986] *Digital Microwave Links in the French Telecommunication Network*. Ed. ECCR, Munich.

Otras publicaciones

1. CEPT/ECC Report 063 Measurement Using Fast Fourier Transform (FFT).
2. CEPT/ERC Report 077 Field Strength Measurements Along a Route.
3. CEPT/ERC Report 066 Report on Inspection Procedures including Training of Inspectors.
4. CEPT/ECC/REC/(07)01 Frequency Measurements Using Fast Fourier Transform (FFT) Techniques.
5. CEPT/ECC/REC/(06)01 Bandwidth Measurements Using FFT Techniques.
6. CEPT/ECC/REC/(02)04 Measuring Non-ionising Electromagnetic Radiation (9 kHz-300 GHz).
7. CEPT/ECC/REC/(02)03 Exchange of Radio Monitoring Information Using Electronic Means in Common Monitoring Campaigns.
8. CEPT/ERC/REC/(00)08 Field Strength Measurements along a Route with Geographical Coordinate Registrations.
9. CEPT/ERC/REC 54-01 Method of Measuring the Maximum Frequency Deviation of FM Broadcast Emissions in the Band 87.5 MHz to 108 MHz at Monitoring Stations.
10. CEPT/ERC/REC 01-10 Frequency Channel Occupancy Measurements.
11. CEPT/ERC/REC 01-09 Relating to "Model Cross Border Agreement on Radio Monitoring" to Assist a Better Co-operation on Spectrum Monitoring.
12. CEPT/ERC/REC 01-08 Exchange of Information Between Monitoring Stations.

Nota: estos documentos CEPT son publicados por la European Communications Office en www.ero.dk

LISTA DE FUENTES DE REFERENCIA DE UIT-R Y UIT-T USADAS EN ESTE TÍTULO

Se recomienda tener en cuenta que las recomendaciones y los informes de UIT-R y UIT-T se actualizan periódicamente, por lo tanto, siempre debe utilizarse la última versión del documento, consultando la base de datos de documentos de www.itu.int

Título	Tema
Serie de gestión del espectro	
SM.182-5	Comprobación automática de la ocupación del espectro de frecuencias radioeléctricas (suprimida)
SM.328-11	Espectros y anchuras de banda de las emisiones
SM.329-12	Emisiones no deseadas en el dominio no esencial
SM.377-4	Precisión de las mediciones de frecuencia en las estaciones de comprobación técnica internacional
SM.378-7	Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica
SM.1536	Suprimida
SM.1541-4	Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda
SM.1598	Métodos de radiogoniometría y localización de señales de acceso múltiple por división en tiempo y acceso múltiple por división de código
SM.1600-1	Identificación técnica de las señales digitales
SM.1681	Medición de emisiones de bajo nivel procedentes de estaciones espaciales en las estaciones terrenas de comprobación técnica utilizando técnicas de reducción del ruido
SM.1753-2	Métodos para medir el ruido radioeléctrico
SM.1793	Suprimida
SM.1809	Formato normalizado de intercambio de datos para los registros y mediciones de bandas de frecuencias efectuados en estaciones de comprobación técnica

Título	Tema
SM.1875	Mediciones de la cobertura de la DVB-T y verificación de los criterios de planificación
Series de propagación	
P.370-7	VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz. Broadcasting services (suprimida)
P.533-11	Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decamétricas
P.845-3	Medición de la intensidad de campo en ondas decamétricas
P.1057-2	Distribuciones de probabilidad para establecer modelos de propagación de las ondas radioeléctricas
P.1546-4	Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz
Serie de servicios de radiodifusión	
BS.468-4	Medición del nivel de tensión del ruido de audiofrecuencia en radiodifusión sonora
BT.655-7	Relaciones de protección en radiofrecuencia para sistemas de televisión terrenal con modulación de amplitud de banda lateral residual interferidos por señales de imagen analógicas no deseadas y sus señales de sonido asociadas
BT.2049-5 (informe)	Broadcasting of multimedia and data applications for mobile reception Nota - Este Informe ha sido publicado solamente en versión inglesa
Serie marítima	
M.257	Suprimida
M.476-5	Equipos telegráficos de impresión directa en el servicio móvil marítimo
M.491	Suprimida
M.493-13	Sistema de llamada selectiva digital para el servicio móvil marítimo
M.541-9	Procedimientos de explotación para la utilización de equipos de llamada selectiva digital en el servicio móvil marítimo
M.585-6	Asignación y uso de identidades del servicio móvil marítimo
M.625-4	Equipos telegráficos de impresión directa que emplean la identificación automática en el servicio móvil marítimo

Título V — Monitoreo del espectro radioeléctrico

Título	Tema
M.1172	Abreviaturas y señales diversas que habrán de utilizarse para las radiocomunicaciones en el servicio móvil marítimo
M.1177-4	Técnicas para la medición de emisiones no deseadas en los sistemas de radar
Serie de sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales	
G.703	Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas
Otras publicaciones de la UIT	
HB MON	Manual de Monitoreo del Espectro (2002)
HB NSM	Manual de Gestión Nacional del Espectro (2005)
HB CAT	Manual de Técnicas Asistidas por Computador (2005)
Opinión 85	Mediciones de características del ruido de radio atmosférico (suprimida)
RR	UIT Reglamento de Radiocomunicaciones
UIT Ginebra 06	Este Acuerdo regula la utilización de frecuencias por parte de los servicios de <i>radiodifusión</i> y otros servicios terrestres primarios en las bandas de frecuencia 174-230 MHz y 470-862 MHz en la Región 1 UIT
IFL	UIT Lista Internacional de Frecuencias
BR IFIC	UIT BR Circular Internacional de Información sobre Frecuencias BR (Servicios Terrestres)
SNL	UIT Lista de Redes de Satélite (SNL) es una lista de información básica relativa a las estaciones espaciales existentes o previstas y estaciones terrenas
SRS	Estaciones de Radiocomunicaciones de la UIT en DVD-ROM. Es un documento de servicio publicado (en forma electrónica) por la Oficina de Radiocomunicaciones

REFERENCIAS

La lista de referencias refleja la versión y la fecha de su publicación al momento en que fue editado este documento; por lo tanto, se recomienda utilizar la última versión, consultando la base de datos de documentos de UIT en www.itu.int.

1. Manual de Gestión del Espectro, UIT, Ginebra, 2005.
2. Recomendación UIT -R SM.378-7. Mediciones de la intensidad de campo en las estaciones de comprobación técnica.
3. CISPR 16-1 Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods (2007).
4. Recomendación UIT -R SM.182-5. Comprobación automática de la ocupación del espectro de frecuencias radioeléctricas (suprimida).
5. HAGN, G. H., STEHLE, R. H. and HAMISH, L. O. [June 1988] Shortwave broadcasting band spectrum occupancy and signal level in the continental United States and Western Europe. *IEEE Trans. on Broad.*, Vol. 34, No. 2, pp. 115-125.
6. Recomendación CEPT/ECC (05)01, 2005. Harmonisation of automatic measuring methods and data transfer for frequency band registrations.
7. Recomendación UIT -R SM.1809. Formato normalizado de intercambio de datos para los registros y mediciones de bandas de frecuencias efectuados en estaciones de comprobación técnica.
8. Recomendación UIT -R BS.468-4. Medición del nivel de tensión del ruido de audiofrecuencia en radiodifusión sonora.
9. UIT -R Opinión 85, 1993. Mediciones de características del ruido de radio atmosférico (suprimida).
10. KRAUS, J. D. [1950] *Antennas*. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, United States of America.
11. Recomendación UIT -R P.845-3. Medición de la intensidad de campo en ondas decamétricas.
12. Recomendación UIT -R P.533-11. Método de predicción de la calidad de funcionamiento de circuitos que funcionan en ondas decamétricas.
13. Recomendación UIT -R M.1172. Abreviaturas y señales diversas que habrán de utilizarse para las radiocomunicaciones en el servicio móvil marítimo.
14. Recomendación UIT -R P.1057-2. Distribuciones de probabilidad para establecer modelos de propagación de las ondas radioeléctricas.
15. Recomendación UIT -R P.1546-4. Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 30 a 3 000 MHz.
16. HCM Agreement, Vilnius, 2005. On the co-ordination of frequencies between 29.7 MHz and 39.5 GHz for the fixed service and the land mobile service.
17. Reglamento de Radiocomunicaciones UIT.
18. Recomendación UIT -R SM.328-11. Espectros y anchuras de banda de las emisiones.

19. Recomendación UIT -R SM.329-12. Emisiones no deseadas en el dominio no esencial.
20. Informe UIT -R BT.2049-5. Broadcasting of multimedia and data publications for mobile reception.
21. UIT Geneva '06 Agreement. This Agreement governs the use of frequencies by the broadcasting service and other primary terrestrial services in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz in UIT Region 1.
22. Recomendación UIT -R SM.377-4. Precisión de las mediciones de frecuencia en las estaciones de comprobación técnica internacional.
23. Recomendación UIT -R BT.655-7. Relaciones de protección en radiofrecuencia para sistemas de televisión terrenal con modulación de amplitud de banda lateral residual interferidos por señales de imagen analógicas no deseadas y sus señales de sonido asociadas.
24. UIT Resolution 13 (rev. WRC'97). Formation of call signs and allocation of international series.
25. Lista Internacional de Frecuencias UIT.
26. Recomendación UIT -R M.257. Sequential Single Frequency selective-calling system for use in the maritime mobile service (Suprimida).
27. Recomendación UIT -R M.476-5. Equipos telegráficos de impresión directa en el servicio móvil marítimo.
28. Recomendación UIT -R M.491. Translation between an identity number and identities for direct-printing teletypewriter in the maritime mobile service (Suprimida).
29. Recomendación UIT -R M.493-13. Sistema de llamada selectiva digital para el servicio móvil marítimo.
30. Recomendación UIT -R M.541-9. Procedimientos de explotación para la utilización de equipos de llamada selectiva digital en el servicio móvil marítimo.
31. Recomendación UIT -R M.625-4. Equipos telegráficos de impresión directa que emplean la identificación automática en el servicio móvil marítimo.
32. Recomendación UIT -R M.585-6. Asignación y uso de identidades del servicio móvil marítimo.
33. Recomendación EU/1999/519/EC. European Union Council Recomendación of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz)
34. Recomendación UIT -T G.703. Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.
35. SEAMCAT software download page, see: www.seamcat.org
36. Recomendación UIT -R SM.1681. Medición de emisiones de bajo nivel procedentes de estaciones espaciales en las estaciones terrenas de comprobación técnica utilizando técnicas de reducción del ruido.
37. BR IFIC: UIT BR International Frequency Information Circular (Terrestrial Services).
38. UIT Space Network List. (SNL) is a list of basic information concerning planned or existing space stations and earth stations.
39. UIT *Space Radiocommunications Stations* (SRS) on DVD-ROM is a service document published (in electronic form) by the Radiocommunication Bureau (BR).
40. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Database.
41. Recomendación UIT -R SM.1753-2. Métodos para medir el ruido radioeléctrico.
42. Recomendación UIT -R SM.1536. Frequency channel occupancy measurements (Suprimida).
43. Recomendación UIT -R SM.1793. Measuring frequency channel occupancy using the technique used for frequency band measurement (Suprimida).
44. Spaulding/Hagn "On the Definition and Estimation of Spectrum Occupancy" (1977).

45. Recomendación UIT -R M.1177-4 - Técnicas para la medición de emisiones no deseadas en los sistemas de radar.
46. Recomendación UIT -R SM.1541-4 - Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda.
47. Recomendación UIT -R SM.1875 - Mediciones de la cobertura de la DVB-T y verificación de los criterios de planificación.

© República de Colombia – Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y Agencia Nacional del Espectro, 2012

Este documento, así como los derechos patrimoniales derivados del mismo, son de propiedad del Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) y de la Agencia Nacional del Espectro (ANE), quienes podrán utilizarlo, divulgarlo o reproducirlo en la forma y para los fines que estimen convenientes, en la República de Colombia.

Primera edición: 31 de diciembre de 2012

ACERCA DE LOS AUTORES

El Título V fue desarrollado como resultado del Acuerdo de Cooperación Técnica 1/1997 celebrado entre la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (Anexo No. 3 – Acuerdo de 2009 y Anexo No. 4 de 2010), con la asistencia y participación de Tovar Fajardo & Asociados Abogados Ltda.

Participaron en la elaboración del Título V los siguientes consultores:

ASUNTOS TÉCNICOS

JAN VERDUIJN
Experto consultor UIT

JOSÉ GENALDO CÉSPEDES CLAVIJO

GERMAN MAURICIO FAJARDO MURIEL

ASUNTOS JURÍDICOS

ALFREDO FAJARDO MURIEL
FELIPE TOVAR DE ANDREIS