

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Informe UIT-R SM.2424-0
(06/2018)

**Técnicas de medición y nuevas tecnologías
para la comprobación técnica de satélites**

Serie SM
Gestión del espectro



Unión
Internacional de
Telecomunicaciones

Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro

Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2018

© UIT 2018

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

INFORME UIT-R SM.2424-0

**Técnicas de medición y nuevas tecnologías
para la comprobación técnica de satélites**

(2018)

1 Introducción

El Manual sobre comprobación técnica del espectro de la UIT facilita información detallada sobre la medición de los parámetros de señal y sobre los procedimientos básicos para la comprobación técnica del espectro, pero adolece de descripciones en materia de técnicas de medición avanzadas y nuevas tecnologías para la comprobación técnica de satélites. El objeto de este Informe es proporcionar una descripción completa de las funciones necesarias para las estaciones de comprobación técnica de satélites y de los requisitos técnicos conexos para nuevas soluciones de comprobación técnica, que sirvan de directrices sistemáticas e intuitivas para las administraciones que deseen implantar instalaciones de comprobación técnica de satélites.

En el momento de elaborar este Informe se ha tenido en cuenta la siguiente documentación de la UIT relativa a la comprobación técnica del espectro:

- Recomendación UIT-R RA.769 – Criterios de protección utilizados para las mediciones radioastronómicas
- Recomendación UIT-R SM.1600 – Identificación técnica de señales digitales
- Informe ERC 171: «Impact of Unwanted Emissions of IRIDIUM Satellites on Radio Astronomy Operations in the Band 1610.6-1613.8 MHz»
- Manual de la UIT sobre comprobación técnica del espectro, edición 2011.

Otros documentos:

Reconstruction of the Satellite Orbit via Orientation Angles (Journal for Geometry and Graphics, Volúmen 4 (2000)), por A. M. Farag y Gunter Weiss.

2 Términos y definiciones

AMDC	Acceso múltiple por división en el código (<i>CDMA, code division multiple Access</i>)
AMDE	Acceso múltiple por división espacial (<i>SDMA, space-division multiple Access</i>)
AMDF	Acceso múltiple por división de frecuencia (<i>FDMA, frequency division multiple Access</i>)
AMDT	Acceso múltiple por división en el tiempo (<i>TDMA, time division multiple Access</i>)
AOA	Ángulo de llegada (<i>angle of arrival</i>)
CW	Onda continua (<i>continuous wave</i>)
defp	Densidad espectral de flujo de potencia, dBW/m ² /Hz (<i>spdf, Spectral power flux density, dBW/m²/Hz</i>)
dfp	Densidad de flujo de potencia, dBW/m ² en la anchura de banda aplicable (<i>pdf, power flux density</i>)
DVB-CID	Identificación de portadora DVB (<i>DVB Carrier-Identification</i>)
EVM	Magnitud del vector de error (<i>error vector magnitude</i>)
FDOA	Diferencia de frecuencias de llegada (<i>frequency difference of arrival</i>)

LDPC	Verificación de paridad de baja densidad – código de corrección lineal (<i>low density parity check</i>)
MAQ-16	Modulación de amplitud en cuadratura de dieciséis estados (<i>16QAM, sixteen state quadrature amplitude modulation</i>)
MDP-2	Modulación por desplazamiento de fase binario – modulación por desplazamiento de fase de dos estados (<i>BPSK, binary phase shift keying – two state phase shift keying</i>)
MDP-4	Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura – Modulación por desplazamiento de fase de cuatro estados (<i>QPSK, quadrature phase shift keying – four state phase shift keying</i>)
MDP-8	Modulación por desplazamiento de fase de 8 niveles (<i>8PSK, eight state phase shift keying</i>)
p.i.r.e.	potencia isotrópica radiada equivalente (<i>e.i.r.p. equivalent isotropic radiated power</i>)
POA	Potencia de llegada (<i>power of arrival</i>)
RS	Codificación Reed Solomon (<i>reed Solomon coding</i>)
SOA	Arquitectura orientada al servicio (<i>service oriented architecture</i>)
TCA	Momento de máxima aproximación (<i>time of closest approach</i>)
TDOA	Diferencia de tiempos de llegada (<i>time difference of arrival</i>)
Turbo	Código de corrección de errores en recepción de alto rendimiento

3 Objetivos de la comprobación técnica de satélites

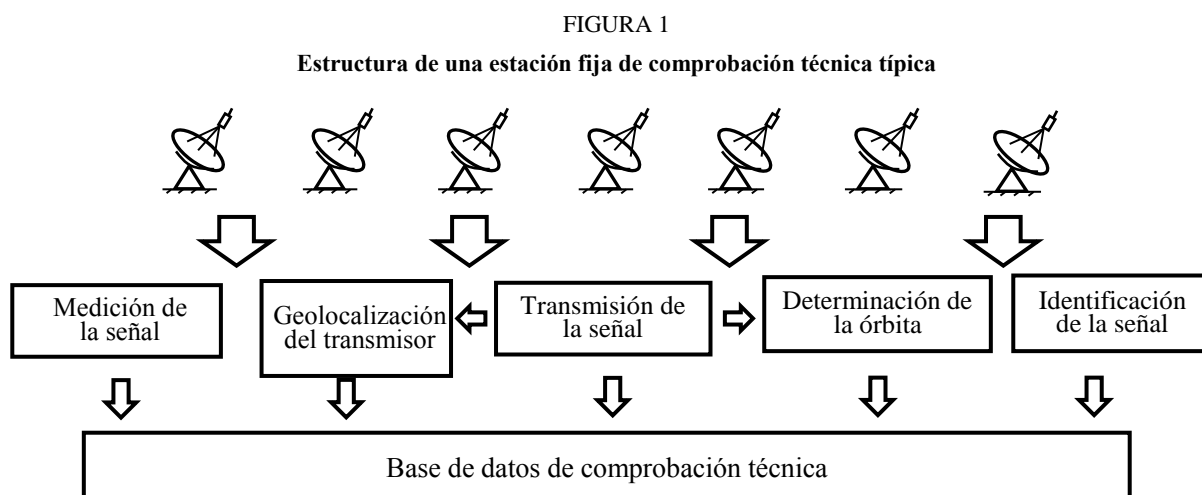
El objetivo de la comprobación técnica del espectro radica en maximizar la eficiencia del espectro, minimizar la interferencia y eliminar el uso no autorizado e impropio del espectro. La comprobación técnica del espectro complementa la gestión del espectro. La comprobación técnica de los servicios radioeléctricos espaciales requiere planteamientos y técnicas diferentes de los empleados para la comprobación técnica de los servicios terrenales. Por esta razón, es importante que las administraciones dispongan de estaciones de comprobación técnica de satélites totalmente funcionales.

La comprobación técnica de satélites tiene dos objetivos primarios, que son:

- Objetivo 1: Evaluación de la utilización de los satélites:
 - Portadoras y transpondedores;
 - Ocupación de la posición orbital;
 - Ocupación de las frecuencias;
 - Posición orbital y asignación de frecuencias (para su uso a largo plazo);
 - Cumplimiento de la densidad de flujo de potencia (dfp) y otros parámetros técnicos;
 - Cobertura del haz.
- Objetivo 2: Detección y resolución de interferencias:
 - Geolocalización de transmisores interferentes sobre la superficie de la Tierra;
 - Determinación de si los transmisores interferentes son móviles o fijos;
 - Detección y análisis técnico de las redes de comunicaciones de satélites interferentes;
 - Determinación de la posición exacta de las fuentes de interferencia terrenales;
 - Investigación y verificación de los parámetros de emisión en materia de licencias;
 - Eliminación de las interferencias.

4 Funciones y sistemas de comprobación técnica

Esta sección describe las funciones básicas de una estación de comprobación técnica de satélites. En la Fig. 1 se muestra la estructura de una estación fija de comprobación técnica típica.



4.1 Recepción de la señal

Para la comprobación técnica de señales provenientes de satélites normalmente se utilizan antenas parabólicas debido a que pueden apuntarse hacia el satélite de interés y utilizarse para hacer el seguimiento de los satélites. El tamaño de la antena determina su ganancia por lo que debe ser suficientemente grande para permitir una recepción adecuada de la señal. Esquemas de modulación de orden superior necesitan relaciones C/N mayores. La posición orbital del satélite se puede calcular con cierta aproximación a partir de los ángulos de azimut y de elevación de la antena. Un analizador de espectro conectado a la antena presentará el espectro recibido.

Las antenas controladas en fase modifican la forma de sus diagramas de radiación ajustando la fase de alimentación de la señal de los elementos radiantes en el conjunto, lo que facilita el seguimiento de múltiples satélites en un arco espacial amplio prácticamente de forma simultánea. Por lo tanto, los conjuntos de antenas controladas en fase pueden ser una buena elección para la comprobación técnica de señales provenientes de múltiples satélites geoestacionarios (OSG).

Los requisitos de los sistemas de antena utilizados tanto para satélites OSG como no OSG se describen con mayor detalle en el Manual sobre comprobación técnica del espectro del UIT-R, capítulos 5.1.3.3 a 5.1.3.6. En el capítulo 5.1.6.1.1 se presentan ejemplos del uso de las antenas.

Las bandas de frecuencias de los satélites geoestacionarios que normalmente utiliza una estación de comprobación técnica típica son las bandas de ondas decimétricas (UHF) y las bandas L, S, C, X, Ku y Ka. Las bandas de frecuencias de satélites no OSG que normalmente utiliza una estación de comprobación técnica son las bandas de ondas decimétricas y las bandas L, S, X, Ku y Ka. Al aumentar el uso de Internet de banda ancha por satélite, la demanda de anchura de banda seguirá creciendo y habrá que ampliar las bandas de frecuencias utilizadas para la comprobación técnica con la banda Q y con bandas superiores.

4.2 Medición de las señales

Los sistemas modernos de recepción deben ser capaces de realizar mediciones en tiempo real, en tiempo no real (los datos se analizan posteriormente, lo que se conoce como postprocesamiento) y en tiempo fijo. El sistema debe tener una anchura de banda de medición mayor que la de las portadoras

de satélite típicas que se están evaluando. Como mínimo, sin embargo, el sistema debería soportar anchuras de banda de medición superiores a 100 MHz. El sistema también debería ser capaz de registrar datos I/Q en toda la anchura de banda de la señal. Los registros I/Q soportan el postprocesamiento y el análisis de la señal.

Deben medirse los parámetros RF siguientes en tiempo real mediante el sistema de recepción:

- frecuencia central;
- frecuencia doppler;
- dfp relativa a la anchura de banda y dfp total;
- potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.);
- relación portadora ruido, C/N_0 ;
- anchura de banda del transpondedor y anchura de banda de la portadora;
- espectro fuera de banda;
- relación entre la señal recibida y el ruido.

4.3 Identificación de la señal

Como se ha señalado anteriormente, los datos I/Q provenientes del sistema de recepción permiten realizar el tratamiento y análisis de los parámetros de la señal a posteriori. Con un ajuste adecuado, el sistema de recepción puede registrar, una vez detectada, una señal de forma que se puedan guardar sus características para un análisis ulterior. Las directrices sobre cómo hacerlo y cómo analizar los registros I/Q figuran en la Recomendación UIT-R SM.1600 – Identificación técnica de las señales digitales. El sistema de recepción debe ser capaz de determinar las siguientes propiedades de la señal:

- velocidad de código y velocidad de símbolos;
- tipo de modulación, a saber, MDP-4, MDP-8, MDP-2, MAQ-16;
- tipo de codificación de fuente y codificación de canal (es decir, RS, Turbo, LDPC);
- acceso múltiple, es decir, AMDT, AMDF, AMDS, AMDC;
- identificación de portadoras DVB (DVB-CID). DVB-CID es un identificador único para identificar el propietario de una señal de satélite de conformidad con ETSI TS 103 129.

Se pueden utilizar los parámetros adicionales que se muestran a continuación para identificar el sistema de comunicación:

- tipo de protocolo de comunicación, es decir, IP, DCME;
- sistema de comunicación, es decir, SNG, DVB-S, DVB-S2, COMTECH;
- tipo de red de comunicación, es decir, SkyWAN, iDirect, LinkWay/LinkStar.

4.4 Vigilancia y alarmas de la señal

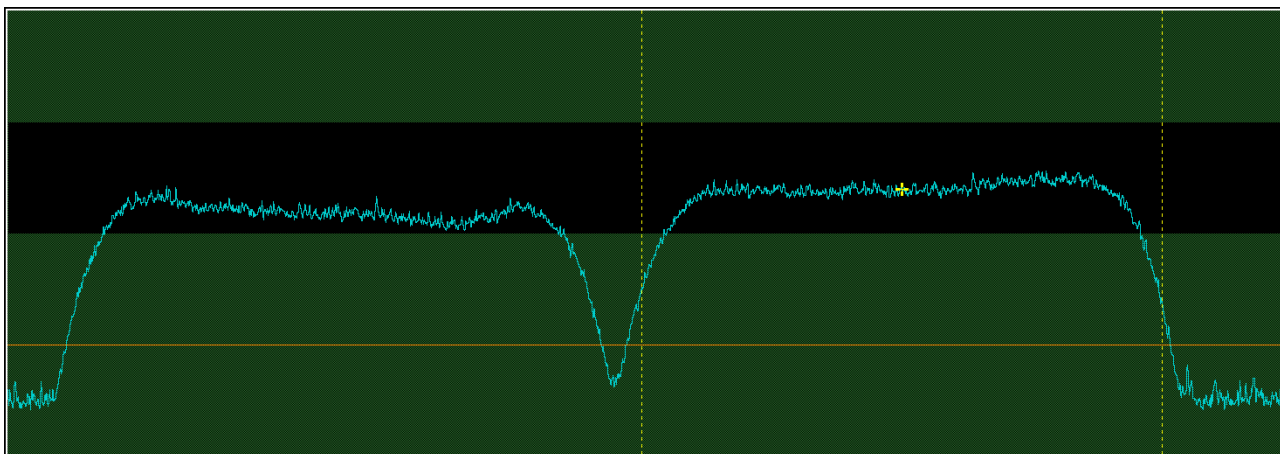
Para detectar transmisores no autorizados e identificar anomalías en un transpondedor o en una determinada anchura de banda, se debe realizar una vigilancia de la señal. Es preciso comparar en permanencia la desviación entre el valor del parámetro medido y el nominal (esperado).

El sistema de comprobación técnica puede generar una alarma para notificar al operador cuando se ha superado un determinado umbral. En la Fig. 2 se muestran ejemplos de niveles de alarma de señales de potencia baja y alta. Los sistemas modernos de comprobación técnica de satélites son capaces de establecer umbrales de potencia altos y bajos. Cuando se produce la superación de un nivel, el programa informático puede actuar automáticamente y suministrar información útil para la operación de los satélites. En la Fig. 2 se muestran dos señales junto con los niveles de potencia alto y bajo asociados (en sombreado).

Se pueden establecer límites similares para diferentes mediciones paramétricas facilitando al operador alarmas en tiempo real frente a condiciones de operación cambiantes.

FIGURA 2

Ejemplo de un nivel de alarma bajo de la potencia de la señal



Se puede hacer de forma manual (sólo para unas pocas portadoras) o automática (para múltiples portadoras) proporcionando una comprobación técnica las 24 horas del día todos los días de la semana. Se pueden iniciar automáticamente tareas tales como la grabación de I/Q, la clasificación de modulaciones y la notificación al operador de comprobación técnica con el fin de contribuir a la identificación de anomalías. Además, el sistema de geolocalización se podría poner en funcionamiento en cuanto se detecte un evento de interferencia o una emisión no autorizada.

Se pueden utilizar los parámetros siguientes para detectar una anomalía o una transmisión no autorizada y activar una alarma:

- frecuencia central;
- anchura de banda;
- p.i.r.e.;
- relación S/N ;
- cambios del nivel de ruido en la banda de guarda;
- características de modulación (velocidad de símbolos, EVM).
- El operador puede utilizar espectrogramas para visualizar interferencias de corta duración, derivas rápidas de intervalos de tiempo y señales de barrido.

4.5 Geolocalización de los transmisores situados sobre la Tierra

La geolocalización de los transmisores situados sobre la Tierra debe realizarse mediante algoritmos de correlación cruzada utilizando uno, dos o tres satélites.

Debido a las limitaciones de los algoritmos y a diversos factores que afectan a la precisión de la medición de geolocalización, el resultado es una zona en la que es más probable que se encuentre el transmisor interferente, en lugar de una posición exacta.

El resultado normalmente se presenta como una zona con los parámetros que se indican a continuación:

- longitud y latitud del punto central de la zona;
- precisión de la geolocalización que podría representarse mediante una elipse con su eje mayor, eje menor y ángulo de la zona relativos al Norte;
- situación del transmisor, inmóvil o en movimiento.

4.6 Transmisión de la señal

El sistema de transmisión de la señal de una estación espacial de comprobación técnica de las emisiones se utiliza principalmente para transmitir una señal de referencia desde una ubicación distante conocida con el fin de mejorar la precisión de la geolocalización. La señal de referencia normalmente es una señal de espectro ensanchado. Debido a sus características espectrales, las señales de espectro ensanchado resultan difíciles de detectar y no producen interferencias a las señales del transpondedor del satélite.

4.7 Determinación orbital

La precisión de los datos de efemérides de los satélites afecta en gran medida a la precisión de la geolocalización. Se recomienda encarecidamente utilizar para la geolocalización las efemérides de satélites con una precisión superior a 5 km.

Existen tres formas de obtener las efemérides de los satélites. La primera consiste en obtener las efemérides a partir de Internet o de operadores de satélite. Las efemérides provenientes de operadores están actualizadas y son precisas. La segunda forma consiste en medir las efemérides del satélite utilizando métodos activos y la tercera en medir las efemérides del satélite utilizando métodos pasivos.

Los métodos de determinación de efemérides activos utilizan mediciones radioeléctricas basadas normalmente en el efecto Doppler, la interferometría o el radar y habitualmente requieren varios transmisores distribuidos en diferentes ubicaciones que emiten en permanencia señales al satélite y reciben sincrónicamente la misma señal desde el satélite durante varias horas para, posteriormente, calcular los elementos orbitales del satélite así como sus efemérides. También se puede utilizar la determinación orbital por medios ópticos.

Sin embargo, si se compara con los métodos de determinación de efemérides activos, el método de determinación de efemérides pasivo no requiere transmitir señales al satélite, por lo que reduce la probabilidad de interferir al propio satélite mediante esas señales. Este método utiliza líneas de diferencia de tiempos de llegada (TDOA) de por lo menos tres estaciones receptoras distantes. Las estaciones receptoras se disponen en un triángulo de cientos de kilómetros y se encuentran sincronizadas en el tiempo mediante señales GPS. Los valores de TDOA se calculan realizando una regresión del modelo orbital mediante la integración de los valores TDOA a lo largo del tiempo.

4.8 Radiorrecalada de las señales

La radiorrecalada de las señales utiliza estaciones de comprobación técnica móviles para identificar la ubicación y el operador de un transmisor situado sobre la Tierra o de otra fuente de interferencia que interfiera las señales de comunicación de satélites autorizados. Entre las técnicas habitualmente utilizadas para la investigación de interferencias se encuentra el uso del ángulo de llegada (AOA), la potencia de llegada (POA) y los algoritmos de correlación cruzada TDOA. La radiorrecalada de una señal se inicia a partir de los resultados de unas mediciones de geolocalización de satélites que describen una zona en la que es más probable que se origine la interferencia. Para obtener la ubicación correcta del transmisor situado sobre la Tierra se utiliza un proceso iterativo mediante dispositivos móviles. A continuación se muestran los resultados de una búsqueda sobre la superficie de la Tierra y su confirmación:

- longitud y latitud del transmisor objetivo (localización);
- operador del transmisor objetivo (identificación).

4.9 Documentación y bases de datos

Los procedimientos y resultados de la comprobación técnica se pueden automáticamente introducir en una base de datos para realizar análisis de tendencias a largo plazo y documentar los efectos de los cambios programados y de los eventos de interferencia. La base de datos incluye registros del grabador de datos provenientes de diferentes tipos de operaciones e instalaciones en las estaciones de comprobación técnica a lo largo de la región o del país. Además, podría también facilitar la elaboración de informes periódicos (diarios, semanales) para contribuir a las operaciones y al mantenimiento habitual. Se pueden almacenar los siguientes parámetros principales:

- datos de espectrograma, datos I/Q;
- datos de mediciones de la señal;
- datos de identificación de la señal;
- datos de geolocalización;
- datos de investigación de interferencias;
- datos de audio y de vídeo;
- parámetros de configuración de equipos durante la comprobación técnica;
- documentación sobre las operaciones;
- registro cronológico del trabajo.

4.10 Visualización de los datos de comprobación técnica

Para lograr determinar el funcionamiento de un sistema de satélites a lo largo del tiempo, se puede consultar la base de datos de comprobación técnica presentando los datos en diferentes formatos, incluidos el análisis espectral tradicional, los espectrogramas, los diagramas en cascada, los diagramas en constelación (para señales demoduladas), así como los mapas digitales para datos referenciados de ubicación. Las mediciones periódicas muestran cambios paramétricos durante períodos de tiempo cortos o largos y proporcionan una visión de las tendencias y de los efectos de otros factores asociados con las características de funcionamiento del sistema (tales como meteorología, eventos locales, cambios de los equipos).

Los datos de comprobación técnica se pueden presentar en los formatos siguientes:

- pantalla de audio y video (para datos decodificados con antelación);
- presentación gráfica de los datos de la señal en el dominio espacial, temporal, de frecuencia y de modulación, es decir, espectrograma, diagrama en cascada y diagrama en constelación;
- presentación de los resultados de geolocalización en un mapa;
- presentación del recorrido del vehículo de comprobación técnica.

4.11 Estadísticas y análisis

Para gestionar el uso del espectro de los satélites y de las estaciones terrenas, se utiliza una base de datos muy integrada con el fin de comparar los datos de las mediciones con datos históricos como se indica en los capítulos 4.2 y 4.3 con el objetivo tanto de comprender las operaciones normales como de identificar el origen de las transmisiones anormales. Los datos permiten, por ejemplo, realizar los análisis siguientes:

- identificación de emisiones no autorizadas y de anomalías;
- despliegue de interferencias y de redes de comunicaciones por satélite no autorizadas (es decir, VSAT) incluidas las frecuencias de interferencia, los tipos de modulación, el número de interferencias, la distribución geográfica y las fuentes de interferencia;
- posición orbital de los satélites;
- ocupación de frecuencias.

4.12 Control de los equipos

Los equipos de comprobación técnica computerizados pueden realizar muchas funciones de medición automatizadas y facilitan la creación de las bases de datos. También pueden ayudar a los operadores a realizar operaciones manuales y comprobar y mantener la estación. El control a distancia de la estación puede proporcionar una funcionalidad similar. Además, puede establecer comunicaciones en tiempo real entre los vehículos de comprobación técnica y las instalaciones fijas mediante conexiones de red de audio o de vídeo de amplia cobertura. También puede facilitar datos de comprobación técnica provenientes de estaciones distantes/móviles a instalaciones fijas.

Debido a la amplia variedad de dispositivos de comprobación técnica y de fabricantes, existen diferentes normas de interfaz de programación de aplicación (API) y diversos formatos de datos para esos dispositivos. Por ello, es posible que no se pueda disponer del control automatizado e inteligente de los dispositivos. Con el fin de resolver este problema, la comprobación técnica de satélites se podría dividir en función de los cometidos en lugar de en función de los dispositivos. Los dispositivos que proporcionan la misma función deberían tener la misma API. Para facilitar el uso eficiente de las funciones de comprobación técnica, las administraciones deben considerar la adopción de una arquitectura orientada al servicio (SOA) en los programas informáticos de control.

La SOA es un modelo de componentes que vincula las diferentes unidades funcionales de los dispositivos de comprobación técnica (denominados servicios) por interfaces bien definidas entre dichos servicios. La interfaz debe ser independiente de la plataforma física, del sistema operativo y de los lenguajes de programación que prestan el servicio. Esto permite que los servicios generen una variedad de sistemas e interactúen de forma unificada y universal.

5 Evaluación de la utilización del recurso satélite

El número de posiciones orbitales de los satélites OSG es limitado. Para la selección de nuevas posiciones orbitales y para la coordinación entre satélites es importante verificar si se utilizan adecuadamente las posiciones orbitales de los satélites y sus frecuencias y si los parámetros de comprobación reales se encuentran en sus valores nominales.

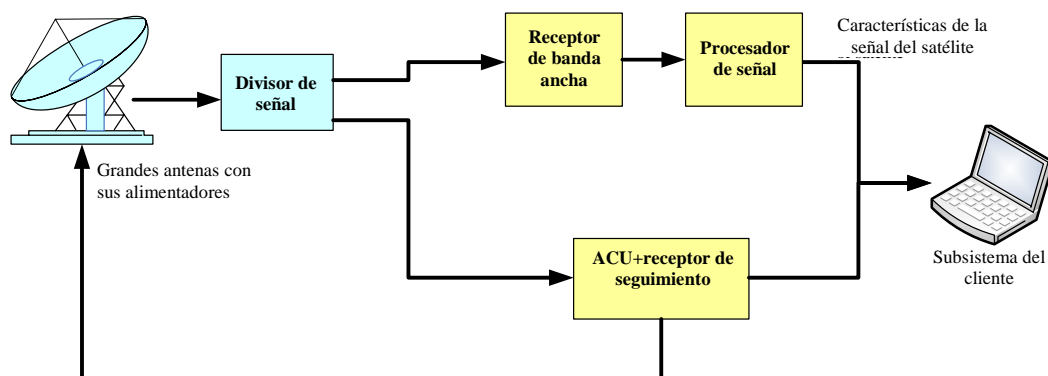
Además, con el uso cada vez más extendido de microsátélites, es más probable que se produzcan interferencias entre satélites no OSG y equipos terrenales. Resulta importante supervisar los parámetros de los satélites no OSG para mantener un uso normal tanto de las comunicaciones por satélite como de las comunicaciones terrenales.

5.1 Estructura del sistema

La Fig. 3 muestra un diagrama de bloques para un sistema típico de comprobación técnica de satélites.

FIGURA 3

Diagrama de bloques de un sistema típico de comprobación técnica de satélites



5.2 Técnicas de medición de la comprobación técnica de satélites OSG

5.2.1 Mediciones de la precisión de la posición orbital de los satélites

Como se indica en la Sección III del Artículo 22 del Reglamento de radiocomunicaciones (RR) y en el Apéndice 30 del RR, las estaciones espaciales a bordo de satélites OSG que utilizan cualquier banda de frecuencias atribuida al servicio fijo por satélite o al servicio de radiodifusión por satélite deben ser capaces de mantener su posición entre $\pm 0,1^\circ$ de la longitud de su posición nominal. No obstante, las estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite en satélites geoestacionarios que funcionan en la banda 11,7-12,7 GHz deben mantener sus posiciones entre $\pm 0,5^\circ$ de longitud de sus posiciones nominales.

Por consiguiente, es necesario medir la posición orbital actual durante por lo menos 12 horas y compararla con la posición orbital nominal del satélite. Se registrarán las diferencias superiores a las establecidas anteriormente.

5.2.2 Medición de la ocupación del espectro

La ocupación del espectro indica el uso real de un transpondedor en una determinada anchura de banda. Se debe seguir el procedimiento siguiente:

- dirigir la antena a un satélite OSG o a una posición orbital;
- realizar mediciones de la señal en una determinada anchura de banda, véase el capítulo 4.2. Las mediciones de la señal se realizarán automáticamente mediante sistemas de comprobación técnica de satélites OSG;
- registrar los resultados de las mediciones de la señal en una base de datos;
- al consultar la base de datos, se podrá calcular cuando sea necesario la ocupación del espectro en diferentes bandas de frecuencias y en diferentes intervalos de tiempo. Además, si la ocupación del espectro de una ubicación orbital está cerca de cero a largo plazo, se puede identificar la ubicación orbital como una posición orbital libre que se podría utilizar para la notificación de inscripciones en la UIT.

Cuando varios satélites comparten una posición orbital resulta difícil distinguir el espectro proveniente de un satélite o de otro, a menos que se conozca la polarización y el plan del transpondedor de cada satélite.

5.2.3 Detección de emisiones no autorizadas

Para detectar emisiones no autorizadas y anomalías en un transpondedor o en una determinada anchura de banda, se deben medir automáticamente los parámetros de la señal (como se describe en el capítulo 4.2) y compararlos siempre con los parámetros nominales (esperados).

En el caso de emisiones no autorizadas hay que esforzarse en identificar las características de los parámetros internos de la señal. Véase el capítulo 4.3.

Además, de conformidad con la Sección V del Artículo 21 del RR, la dfp medida de una emisión inadecuada debería compararse con el límite de la UIT y con el límite de dfp nominal aplicado por el operador del satélite.

5.3 Técnicas de medición de la comprobación técnica de satélites no OSG

5.3.1 Identificación de satélites no OSG

La identificación de satélites no OSG es necesaria durante las mediciones de la ocupación de bandas de frecuencias y durante las comprobaciones anteriores al lanzamiento y para la reducción de las interferencias.

Debido a diferentes condiciones previas, existen diferentes métodos de identificación. Algunos posibles escenarios podrían ser:

- Se conoce la hora de aparición de la interferencia. Una característica de los satélites no OSG es el desplazamiento Doppler; otra es la aparición periódica a una hora similar del día. Por ejemplo, el cliente tiene un protocolo de casos de interferencia. El diagrama de directividad/radiación de la antena que recibe la interferencia debe tenerse en cuenta.
- La estación de comprobación técnica es capaz de hacer un seguimiento del satélite desconocido y registrar la hora, el azimut y la elevación.
- La estación de comprobación técnica es capaz de registrar la banda de frecuencias de interés utilizando una antena omnidireccional.

Métodos de identificación

No hay que olvidar que un satélite no necesariamente transmite en permanencia.

Método A: Se dispone de elementos orbitales

- Condición previa: se dispone de un conjunto completo de elementos orbitales para todos los satélites.
- Los programas informáticos predicen la visibilidad (y los ángulos de observación) en tiempo real.
- Se realiza la comparación con los objetos observados.
- Se reduce el número de posibles satélites mediante la repetición de las mediciones.
- Se utilizan los elementos orbitales para dirigir la antena para ulteriores mediciones.

Método B: Elementos orbitales a partir de ángulos de observación

- Condición previa: antena en modo de seguimiento automático de una señal apropiada.
- Se registran los ángulos de azimut y de elevación.
- Se calculan los elementos orbitales (véanse otras publicaciones).
- Se prevén los sobrevuelos para ulteriores mediciones.

Método C: Comparación de las horas de observación

- Condición previa: registro del espectro en una antena omnidireccional.
- Se mide la diferencia horaria entre los momentos de máxima aproximación (TCA).
- Se busca un periodo que corresponda en la base de datos.
- Se obtienen los TLE de los satélites dentro de este periodo.
- se calcula la visibilidad y se comparan las horas de visibilidad con los tiempos de observación.
- Se utilizan los elementos orbitales para dirigir la antena para ulteriores mediciones.

Observaciones sobre el método C

Los satélites no OSG circundan el mundo mientras la Tierra gira sobre su eje. Por lo tanto, el observador (a menos que esté situado cerca del eje de rotación de la tierra) pasa dos veces bajo la órbita del satélite, una vez el satélite viene del Norte y la segunda vez del Sur. Para obtener una medición más precisa se recomienda determinar la diferencia temporal entre los sobrevuelos que están separados aproximadamente por 24 (48, 72 ...) horas y dividirlo por el número de revoluciones. El mejor resultado se consigue cuando el satélite se mueve en la misma dirección (Norte/Sur) y con ángulos de observación similares.

Puesto que la mayoría de los satélites no OSG tienen órbitas bajas con alturas entre 160 y 2.000 km (órbita terrestre baja (LEO)), este periodo se sitúa entre 84 y 127 minutos. Por lo tanto, son visibles varias veces cuando el observador pasa bajo su órbita. Esto da lugar a una serie de sobrevuelos. En función de la latitud del observador son visibles ambas series (el satélite proveniente del Norte y el satélite proveniente del Sur) con intervalos de tiempo iguales (observador situado cerca del Ecuador) o diferentes intervalos de tiempo. El cambio en el intervalo de tiempo da una indicación de la inclinación del satélite. Por ejemplo, si el observador está en el hemisferio norte y el intervalo de tiempo durante una serie de sobrevuelos decrece en primer lugar y aumenta después, entonces la inclinación del satélite es superior a 90 grados.

Hay frecuencias que están compartidas por algunos satélites, en su mayor parte de la misma constelación. Los sobrevuelos deben asociarse a satélites únicos. Esto se puede lograr identificando grupos de sobrevuelos con diferencias temporales casi iguales.

Algunas definiciones

Sobrevuelo: Paso de un satélite sobre la estación receptora de horizonte a horizonte.

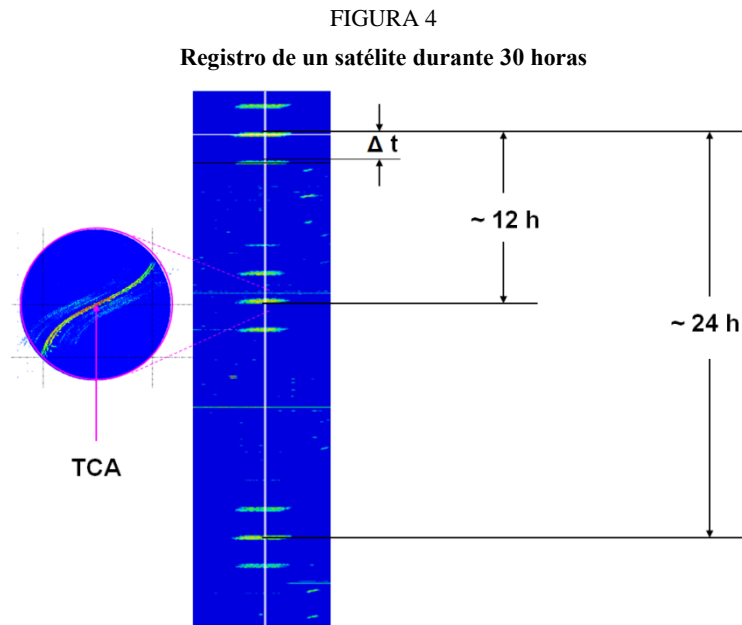
Series de sobrevuelo: Revoluciones consecutivas (órbitas) de un satélite que puede ser observado.

TCA: Momento de máxima aproximación. El desplazamiento Doppler hace visibles los sobrevuelos como curvas con forma de S. En el momento de máxima aproximación, la velocidad relativa del satélite respecto de la estación de comprobación técnica es cero. Se trata de un punto de inflexión de la curva. En ese instante, la frecuencia recibida se corresponde con la frecuencia transmitida.

Δt : diferencia temporal entre dos sobrevuelos.

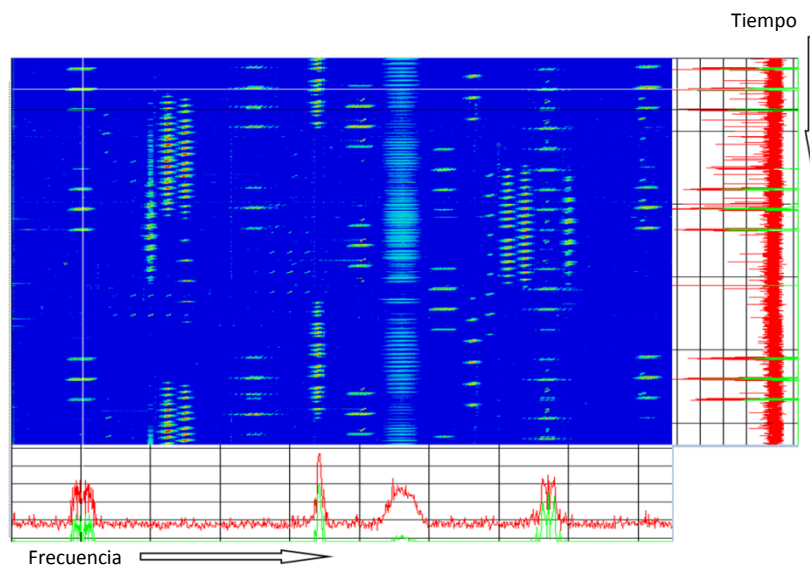
Aproximadamente 12 horas después de una serie de sobrevuelos, el satélite pasa sobre el observador en el sentido opuesto (Norte/Sur).

Aproximadamente 24 horas después de una serie de sobrevuelos, el satélite pasa sobre el observador en el mismo sentido (Norte/Sur).



Registro espectral (registro de bandas de frecuencias): Sistema de grabación que es capaz de presentar el espectro a lo largo del tiempo (espectrograma o presentación en cascada) con un tiempo de almacenamiento de por lo menos 48 horas, una resolución temporal en la gama de segundos y una resolución de frecuencia suficientemente buena para identificar el TCA en las curvas Doppler.

FIGURA 5
Ejemplo de un registrador espectral



5.3.2 Medición de la posición orbital

Se debe calcular la huella de un satélite no geoestacionario y proporcionar sus coordenadas geográficas (el punto subsatelital y la altitud – también se pueden definir en coordenadas xyz referidas al centro de la Tierra) o en una carta celeste. Esto se puede conseguir mediante un seguimiento monopulso durante un periodo de 24 horas o mediante el uso de medios ópticos.

5.3.3 Medición de la curva de dfp de la portadora

Se puede predecir el instante de recepción de un satélite no geoestacionario utilizando las efemérides del satélite. Con estos datos, la antena de la estación terrena puede seguir al satélite y medir automáticamente la curva de dfp. Los resultados de la medición se deben almacenar en la base de datos y presentar gráficamente.

6 Resolución de las interferencias

Los transpondedores de satélite transparentes son susceptibles a interferidores de enlace ascendente y descendente intencionados y no intencionados. Una interferencia no intencionada normalmente se produce por una de las razones siguientes:

- el funcionamiento inadecuado de un servicio de satélites con licencia debido a:
 - un error del operador;
 - una avería de algún equipo;
 - una interferencia contrapolar.
- la interferencia de un satélite adyacente.

Las interferencias intencionadas se pueden producir por perturbaciones deliberadas para fines políticos o criminales o por estaciones terrenas sin licencia que ocupan ilegalmente frecuencias de satélite válidas, lo que produce una degradación perjudicial o la interrupción de servicios con licencia. Por lo tanto, es muy importante la geolocalización y la investigación de las interferencias de los satélites.

6.1 Tipos de interferencia

Cada tipo de interferencia tiene su técnica de medición preferida debido a las diferentes características de las señales. Por lo tanto, un sistema de geolocalización de satélites debe funcionar para diversos tipos de señales de interferencia:

- onda continua (CW);
- señal modulada digital;
- señal modulada analógica;
- AMDT/AMDF/AMDC;
- señal tipo ráfaga;
- señal impulsiva;
- señal de barrido;
- señal de espectro ensanchado;
- impulso radar.

Por ejemplo, para conseguir la geolocalización de una señal CW sólo se necesitan mediciones FDOA. Sin embargo, en el caso de una interferencia TDM se tienen que completar mediciones paramétricas adicionales para determinar cuántas estaciones se encuentran en línea en el periodo de tiempo de cada estación con anterioridad a que comience la geolocalización.

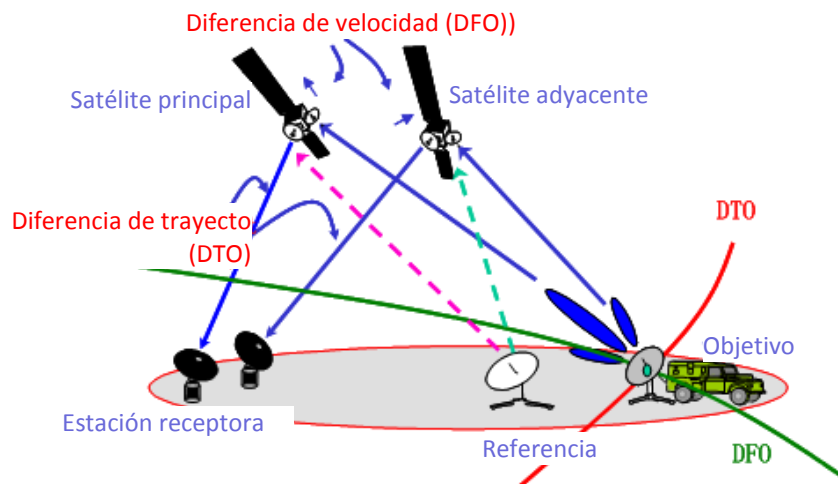
6.2 Principios de geolocalización

6.2.1 Geolocalización de transmisores sobre la Tierra utilizando dos satélites OSG

6.2.1.1 Principio de medición

El método más ampliamente utilizado de los transmisores de geolocalización situados sobre la Tierra se basa en mediciones TDOA y FDOA con dos satélites geostacionarios. El concepto de este método se muestra en la Fig. 6.

FIGURA 6
Separación angular entre el satélite principal y el adyacente en función de la banda de frecuencias de enlace ascendente y del tamaño de la antena



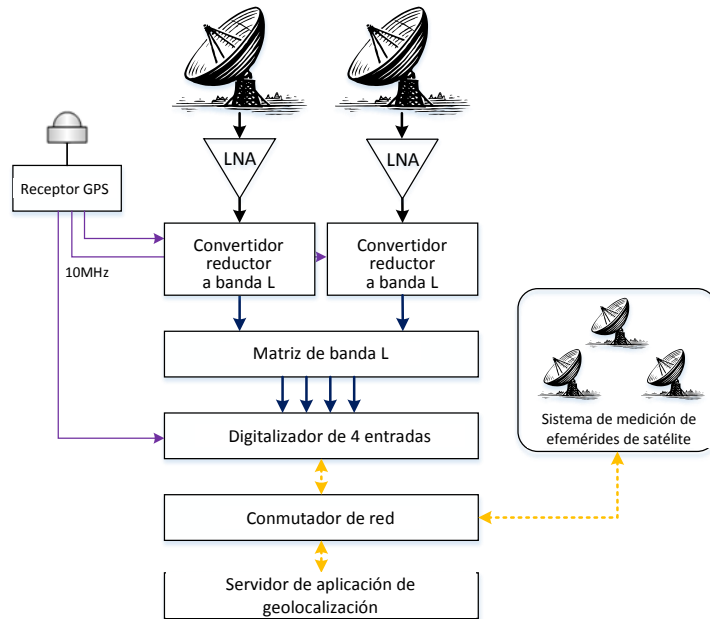
En este ejemplo, el satélite principal es el satélite que recibe la interferencia, también conocido como el satélite «víctima». El satélite adyacente está situado cerca del satélite principal, en el que se pueden utilizar sus transpondedores para medir el lóbulo lateral de la interferencia. Una medición TDOA obtiene la diferencia temporal de la señal interferente que incide en dos receptores situados sobre la Tierra y que se comprueba mediante el satélite principal y el satélite adyacente. Una medición FDOA mide la diferencia de frecuencia de la señal interferente que incide por separado en los dos receptores desde los dos satélites. La intersección de las líneas TDOA y FDOA se presenta normalmente en la forma de una zona elíptica que define la zona en la que es más probable que se encuentre el transmisor no autorizado.

6.2.1.2 Sistema de geolocalización típico utilizando dos satélites OSG

Un sistema de geolocalización típico que utiliza dos satélites OSG está constituido por dos cadenas de recepción RF, digitalizadores de señal y un servidor de aplicación de geolocalización. La cadena RF puede utilizar un amplificador de bajo ruido (LNA) y un convertidor reductor de frecuencia o un convertidor reductor de bloque de bajo ruido (LNB) como se muestra en la Fig. 7.

FIGURA 7

Ejemplo de diagrama de un sistema de geolocalización con dos satélites



6.2.2 Geolocalización de transmisores situados sobre la Tierra utilizando tres satélites OSG

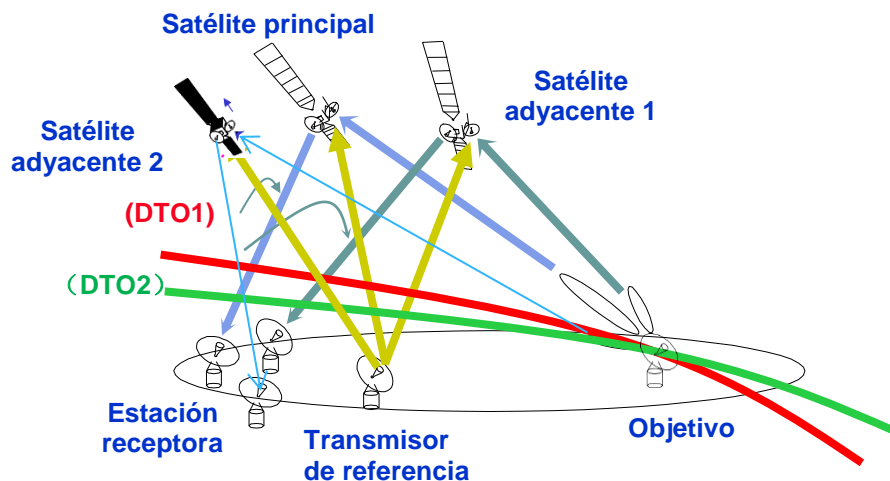
6.2.2.1 Descripción del problema

Una limitación del método de geolocalización que utiliza dos satélites OSG es la incertidumbre de la línea FDOA que puede fluctuar hacia arriba y hacia abajo, en particular en el caso de efemérides imprecisas. Esta fluctuación da como resultado una mala precisión. La utilización de datos de medición provenientes de múltiples estaciones de referencia conocidas reducirá la influencia de las efemérides imprecisas, aunque no puede eliminarla totalmente.

Para lograr un resultado más preciso se ha desarrollado un método de geolocalización basado en mediciones TDOA que utiliza tres satélites OSG. Sin embargo, en la práctica puede resultar difícil encontrar dos satélites adyacentes adecuados para utilizar este método. El concepto del método se muestra en la Fig. 8.

FIGURA 8

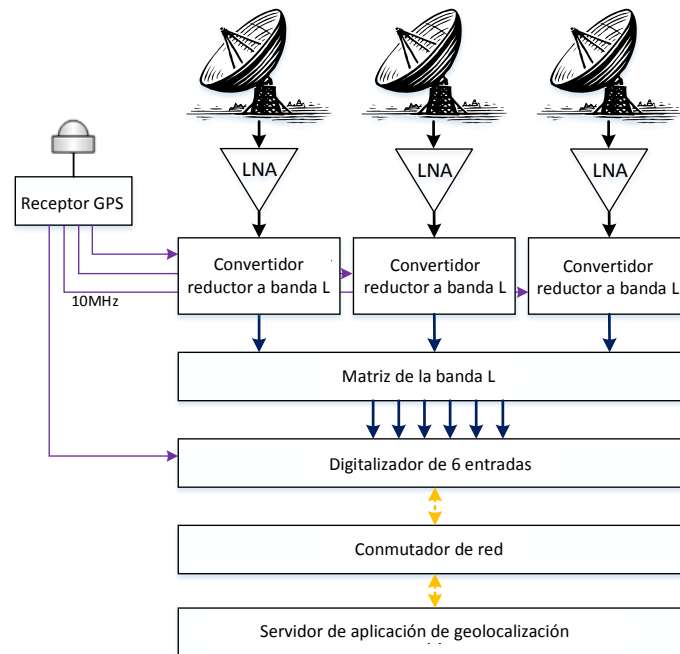
Concepto de sistema de geolocalización con tres satélites utilizando el algoritmo TDOA



6.2.2.2 Sistema de geolocalización típico utilizando tres satélites OSG

La configuración de un sistema de geolocalización típico que utiliza tres satélites OSG es muy similar al sistema de geolocalización que utiliza dos satélites OSG. Este sistema está constituido por tres cadenas de recepción RF, digitalizadores de señal y un servidor de aplicación de geolocalización. La cadena RF puede utilizar un amplificador de bajo ruido (LNA) y un convertidor reductor de frecuencias o un convertidor reductor de bloque de bajo ruido (LNB) como se muestra en la Fig. 9.

FIGURA 9
Ejemplo de diagrama de un sistema de geolocalización con tres satélites



6.2.3 Geolocalización de transmisores situados sobre la Tierra utilizando un único satélite OSG

6.2.3.1 Descripción del problema

Como se ha destacado en los capítulos 6.2.1 y 6.2.2, actualmente se dispone de sistemas de geolocalización comerciales de diferentes fabricantes. La principal dificultad de estos principios de geolocalización es la necesidad de disponer de al menos un satélite adyacente que se encuentre suficientemente cerca para disponer de una energía de diafonía útil que permita el cálculo.

Aunque estén en funcionamiento varios cientos de satélites OSG de los mismos operadores de satélites, algunos se encuentran todavía «aislados», lo que significa que el satélite adyacente más próximo está separado por más de 10 grados. En este caso la diafonía es muy poco probable y demasiado débil para ser medible.

En el caso que se disponga de un satélite adyacente puede que tampoco se pueda utilizar para la geolocalización si no se dispone de efemérides precisas. Uno de los principales parámetros que deben conocerse los sistemas de geolocalización es la posición precisa y la velocidad del satélite principal y del satélite adyacente. La calidad de estos parámetros tiene un impacto importante en la precisión de los sistemas de geolocalización. Además, si el satélite adyacente está controlado por un operador de satélite diferente, los datos de efemérides a menudo no se conocen o solo se conocen con una precisión insuficiente, lo que hace inservible cualquier resultado de geolocalización.

Las efemérides de un satélite se pueden calcular con la ayuda de un sistema de determinación orbital. Además, una de las condiciones previas para las mediciones con éxito es disponer de estaciones de referencia. Se necesitan por lo menos tres o cuatro estaciones de referencia para calcular los datos de efemérides con suficiente precisión. Aunque esto parece sencillo de conseguir, en realidad supone un verdadero desafío y en muchos casos la geolocalización no se puede realizar debido a que los operadores a menudo no conocen qué señal de referencia emite cada estación.

Una vez satisfechas ambas condiciones, el problema siguiente concierne a la señal de diafonía en el satélite adyacente. La señal de diafonía necesita estar en la misma banda de frecuencias y con la misma polarización que la señal interferente del satélite principal (afectado). Teniendo en cuenta las tres condiciones, existen muchos casos en los que no es posible una medición de geolocalización adecuada con las herramientas y algoritmos disponibles actualmente. Por lo tanto, sería muy ventajoso disponer de un método de geolocalización que utilice la señal de interferencia y la señal de referencia de un único satélite.

6.2.3.2 Método de geolocalización utilizando un único satélite GSO y el desplazamiento Doppler inverso

El capítulo 5.1.2.8 del Manual sobre comprobación técnica del espectro de la UIT (edición 2011) describe un posible método para la geolocalización de un transmisor no autorizado situado sobre la Tierra utilizando un satélite OSG. El inconveniente de este método radica en la sensibilidad inherente a las variaciones de frecuencia producidas por el propio equipo de comprobación técnica de la estación de enlace ascendente (por ejemplo, equipos generadores de frecuencias y equipos basados en bucles de enganche de fase (PLL) afectados por los cambios de temperatura) que pueden alcanzar o superar la gama típica de desplazamientos Doppler de los satélites OSG.

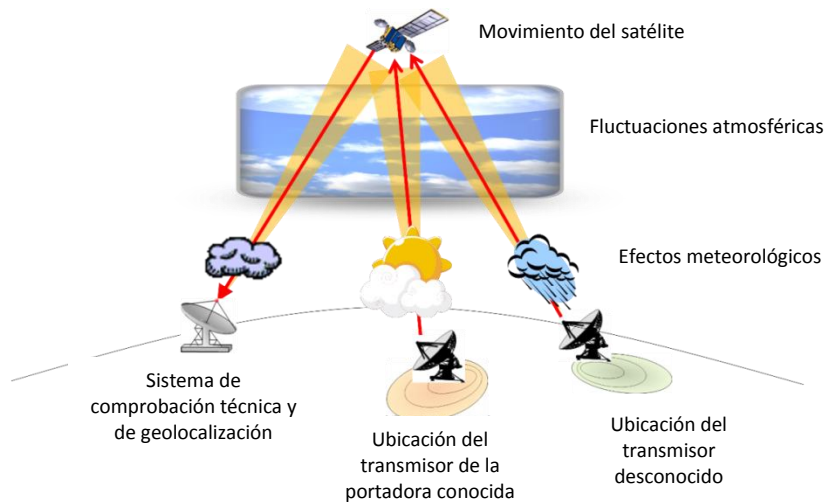
En realidad, los sistemas de geolocalización comerciales que utilizan este método han mostrado que la mejor precisión que pueden conseguir es superior a 100 km y, por tanto, no resulta verdaderamente útil para identificar la estación transmisora no autorizada. Pueden funcionar con una precisión aceptable cuando la señal interferente se recibe desde satélites con órbitas inclinadas, que muestran movimientos mayores que los satélites OSG y dan lugar a mayores desplazamientos Doppler.

6.2.3.3 Método de geolocalización utilizando un único satélite OSG y la correlación con transmisores conocidos situados sobre la Tierra

Esta técnica se basa en el hecho de que la potencia de una señal, transmitida desde una cierta estación transmisora en la Tierra al satélite y después hacia una estación receptora, varía con el tiempo debido a algunos factores que se muestran en la Fig. 10.

- Movimiento del satélite.
- Condiciones atmosféricas y meteorológicas (en el enlace ascendente y en el enlace descendente).
- Cambios en la ganancia del amplificador de potencia y en el alineamiento de la antena en la estación transmisora.

FIGURA 10
Concepto de un sistema de geolocalización con un único satélite utilizando la correlación entre transmisores conocidos



Se puede considerar que las señales transmitidas desde una misma estación terrena o desde una misma zona geográfica darán lugar a variaciones de potencia similares durante el mismo periodo de tiempo, mientras que las señales transmitidas desde zonas geográficas diferentes mostrarán diferentes variaciones de potencia durante el mismo periodo de tiempo.

La Fig. 11 muestra variaciones de potencia de dos señales (roja y azul) transmitidas desde la misma estación durante un periodo de cuatro días. Se puede identificar con claridad una variación cíclica de 24 horas debida al movimiento del satélite. La Fig. 12 muestra variaciones de potencia causadas por los efectos meteorológicos (variaciones bruscas en los datos). En ambos casos, las variaciones de potencia son prácticamente idénticas puesto que ambas señales están transmitidas desde la misma antena.

FIGURA 11
Variaciones de potencia en 24h causadas por el movimiento del satélite

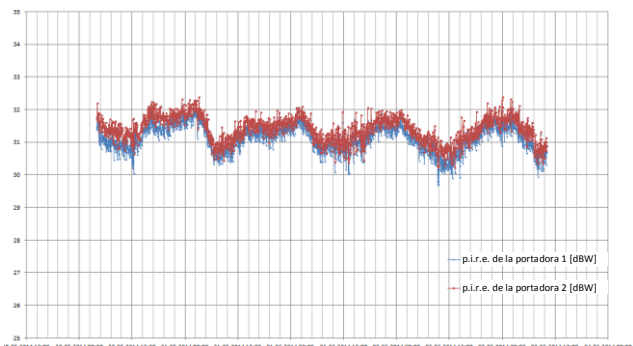
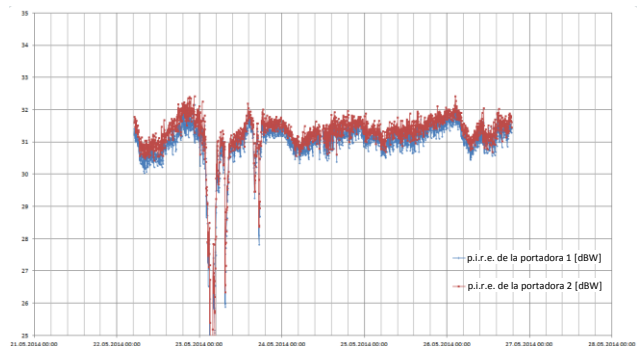


FIGURA 12
Variaciones de potencia causadas por los efectos meteorológicos



Con este método hay que calcular las similitudes entre la señal interferente y otras señales conocidas para ubicar una señal interferente. Esto se hace normalmente en el dominio de la frecuencia realizando la correlación de las señales o de partes de ella. Por lo tanto, el algoritmo de correlación es el elemento crítico de este método en términos de precisión de geolocalización, eficiencia y éxito.

Este concepto se aplica cuando se transmiten muchas señales diferentes desde la misma estación transmisora o en la misma zona geográfica como fuente de interferencia. Todas las señales (incluida la fuente de interferencia) provenientes de dicha zona se pueden comprobar a largo plazo mediante un sistema de supervisión de portadoras y se podría establecer la correlación entre los cambios medidos de la potencia de la señal interferente, la frecuencia o la anchura de banda (por ejemplo, producidos por la influencia del tiempo meteorológico) y los de otros (supuestos) transmisores locales. En el caso de una correlación positiva, se podría determinar que la ubicación del transmisor interferente es idéntica o está muy próxima a la ubicación del transmisor con el que se ha realizado la correlación.

El reto de este método se encuentra en el planteamiento de la correlación y en la estrategia de supervisión, puesto que las mediciones normalmente no se realizan exactamente en el mismo momento (por ejemplo, mediciones síncronas frente a mediciones «ciclo completo»). Esto afectará significativamente a la capacidad de obtener resultados de correlación coherentes que requieren más mediciones paramétricas síncronas. Para la correlación de mediciones no simultáneas, se tienen que investigar los efectos de la diferencia temporal en función de la ponderación, las posibles comprobaciones y la reducción de ambigüedad. Es más, el método podría mejorarse considerando factores tales como la información relativa a los equipos pertenecientes a los transmisores conocidos, a la información meteorológica de terceros, etc. Por ejemplo, la información meteorológica se podría utilizar para reducir aún más la ambigüedad identificando y eliminando casos en los que exista un conflicto con ciertas situaciones meteorológicas.

6.3 Requisitos del sistema de geolocalización

6.3.1 Satélite

Para métodos de geolocalización que utilizan más de un satélite, el satélite principal y el adyacente no deben estar demasiado cerca (lo que hace difícil las mediciones TDOA) ni demasiado lejos (el nivel de la señal en el satélite adyacente sería demasiado débil para poder detectarla) y es preciso que la señal de diafonía en el satélite adyacente se encuentre en la misma banda de frecuencias y con la misma polarización que la señal interferente en el satélite principal. Los datos de efemérides son indispensables para una geolocalización precisa. En el Cuadro 1 se muestra la separación angular recomendada entre el satélite principal y el adyacente.

CUADRO 1

Separación angular entre el satélite principal y el adyacente en función de la banda de frecuencias del enlace ascendente y del tamaño de la antena

Tamaño de la antena (m)	Banda C 6 GHz	Banda X 8 GHz	Banda Ku 14 GHz	Banda Ka 27,5 GHz	Banda Ka 31 GHz
1,2	<15°	<15°	<15°	<10°	<9°
3	<15°	<15°	<15°	<10°	<8°
4,5	<13°	<13°	<12°	<8°	<7°
7,3	<12°	<11°	<10°	<7°	<5°
9	<10°	<10°	<10°	<6°	<3°
16	<10°	<9°	<8°	<3°	
32	<10°	<7°	<3°		

Los satélites principal y adyacente no se deben estar situados en la misma órbita, a menos que se disponga de efemérides muy precisas.

6.3.2 Estación receptora

Los haces de los transpondedores en ambos satélites principal y adyacente deben cubrir simultáneamente tanto la estación transmisora como la estación receptora. Además, se requieren unas prestaciones del sistema de geolocalización suficientes, en particular en la sección de entrada de RF, en la adquisición de datos y en el software.

6.3.3 Transmisor de referencia

Se utiliza un transmisor de enlace ascendente para emitir una señal de referencia desde una posición conocida (latitud, longitud y altitud precisas) y con parámetros conocidos (frecuencia, anchura de banda, polarización) hacia los satélites principal y adyacente. La señal de referencia normalmente es una señal modulada aunque de preferencia se trata de una señal de espectro ensanchado.

La señal de referencia se puede utilizar para eliminar los errores inherentes durante las mediciones TDOA y FDOA, tales como el error de deriva del oscilador local del transpondedor y el error en las efemérides del satélite. Si las efemérides no son lo suficientemente precisas (descargadas de Internet), se recomienda utilizar entre tres y cinco señales de referencia con el fin de obtener un resultado de geolocalización preciso.

6.4 Técnicas de geolocalización del transmisor situado sobre la Tierra

Con el fin de tratar casos de medición difíciles, se recomienda mejorar las características del sistema de geolocalización y las técnicas mencionadas a continuación.

6.4.1 Técnica de cancelación de portadora

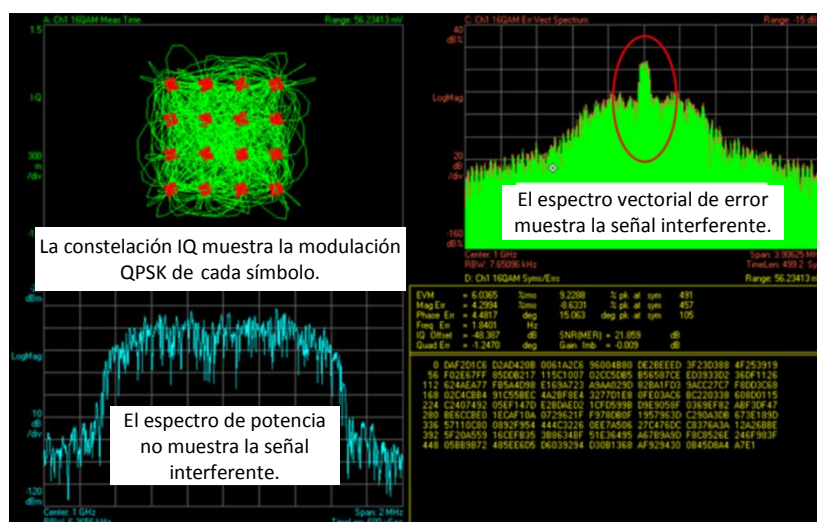
En algunos casos una señal intensa en el satélite adyacente puede enmascarar el lóbulo lateral de la interferencia, haciendo difícil las mediciones o introduciendo errores en el resultado de la geolocalización. La tecnología de cancelación de portadora puede eliminar la influencia de estas señales intensas en el satélite adyacente. La tecnología se puede aplicar de la forma siguiente:

- se miden y analizan los parámetros de la portadora original en el satélite adyacente, es decir, frecuencia, anchura de banda, tipo de modulación, velocidad de símbolos;
- se reconstruye una portadora similar a la portadora original;
- se sustrae la portadora original de la portadora reconstruida suprimiendo así en gran medida la portadora original de los datos de muestreo.

Este proceso también se puede llevar a cabo utilizando programas de análisis de señales vectoriales y su capacidad para calcular la forma de onda temporal de la magnitud vectorial del error utilizando una grabación I/Q de la señal intensa en el canal adyacente. Como se muestra en la Fig. 13 se cargan los registros en el programa VSA y se introducen los parámetros de modulación de la señal intensa incluidos el formato de modulación, la velocidad de símbolos y el tipo de filtro. El espectro EVM se puede entonces utilizar para visualizar el espectro de la señal interferente y la forma de onda EVM en el dominio del tiempo para reconstruir la señal.

FIGURA 13

Aplicación que utiliza la técnica de cancelación de portadora



6.4.2 Técnica de tratamiento de alta ganancia

Si el satélite adyacente se encuentra lejos del satélite principal, la energía de diafonía será demasiado débil para ser detectada, lo que no permitirá conseguir su geolocalización. La solución de este caso consiste en mejorar la ganancia de tratamiento del sistema. De esta forma se puede mejorar la capacidad de extracción de una señal débil del sistema y aumentar la distancia entre los satélites principal y adyacente.

Esta tecnología puede implementarse aumentando el tiempo de integración y la anchura de banda de medición del sistema de geolocalización.

6.4.3 Técnica de determinación de movilidad

La línea TDOA está relacionada con las distancias entre el transmisor y los satélites principal y adyacente. Si el transmisor está en movimiento sobre la Tierra, la línea TDOA cambia considerablemente. Si el transmisor está estacionario, la línea TDOA sólo varía unos pocos kilómetros. Por lo tanto, se puede utilizar la línea TDOA para estimar la movilidad de los transmisores observándola durante un período de tiempo largo.

6.5 Factores que afectan a la precisión de la geolocalización

La precisión de la geolocalización depende en gran medida de los aspectos siguientes:

- Precisión de las efemérides del satélite:

La posición tridimensional y la información sobre velocidad del satélite se consideran factores conocidos en los algoritmos de geolocalización y en las ecuaciones correspondientes. El error en las efemérides del satélite afecta directamente a la precisión de la ubicación y es el factor principal de causa de error.

- Precisión en la ubicación de referencia:

Las estaciones de referencia tienen un papel importante en la corrección de errores de las efemérides y en los errores inherentes. La precisión de la posición de la estación de referencia afecta en gran medida a la precisión del resultado de geolocalización.

- Distribución de las estaciones de referencia:
La distribución geográfica de las estaciones de referencia también afecta a la corrección de errores necesaria para los errores de efemérides e inherentes. Normalmente, una de las estaciones de referencia debe encontrarse cerca del transmisor no autorizado, mientras el resto están distribuidas en torno a él a grandes distancias de separación.
- Momento de la geolocalización:
Debido a las perturbaciones que afectan a la posición del satélite, resulta difícil medir con precisión la ligera diferencia de velocidad radial entre los satélites y cada estación transmisora, por lo que la precisión de la ubicación empeorará durante dos períodos de tiempo al día.
- Retardo temporal:
Puesto que la señal del satélite se transmite a través de la troposfera, la ionosfera, el canal de recepción y los equipos, las variaciones en las correcciones del retardo temporal afectarán a la precisión del resultado de geolocalización.

7 Identificación de transmisores no autorizados

Las mediciones de geolocalización mediante satélites dan lugar a una estimación de la ubicación del emisor dentro de una zona que puede cubrir decenas y hasta centenares de kilómetros. Deben desplegarse estaciones de comprobación técnica móviles para identificar y localizar un transmisor no autorizado dentro de esa zona. Esta sección describe estos sistemas móviles y los planteamientos para identificar y reducir la interferencia.

7.1 Composición de un sistema de comprobación técnica móvil

Para identificar y ubicar los transmisores no autorizados utilizando sistemas de comprobación técnica móviles, deben considerarse los siguientes equipos transportables.

- Plataformas de comprobación técnica:
 - plataformas de comprobación técnica sobre la superficie de la Tierra tales como vehículos de comprobación técnica;
 - plataformas de comprobación técnica aéreas tales como UAV, aeronaves, globos cautivos o aerostatos.
- Analizador de espectro portátil.
- Antena direccional y omnidireccional.
- LNA, LNB y filtros pasobanda adecuados.
- Cables de RF de bajas pérdidas.
- Receptor GPS, brújula.
- Dispositivo de transmisión de datos y dispositivo de control a distancia, si se precisa la transmisión de datos.

7.2 Métodos de búsqueda sobre la Tierra

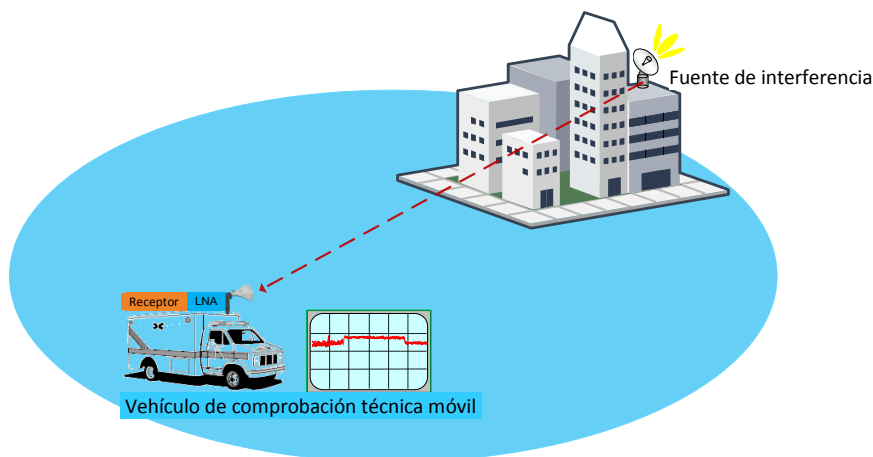
7.2.1 Planteamientos convencionales basados en la comparación de amplitud

El planteamiento convencional para buscar transmisores situados sobre la Tierra se inicia a partir de la zona determinada por el sistema de geolocalización, implica la radiorrecalada de señales y se consigue realizando varias mediciones POA desde múltiples emplazamientos para reducir gradualmente la zona hasta que se encuentre el transmisor no autorizado buscado. La desventaja de

este método radica en que el trayecto de propagación de la onda radioeléctrica se puede ver muy afectado por un entorno electromagnético muy complejo y, por tanto, se puede necesitar más tiempo para encontrar los mejores emplazamientos para una recepción directa de la radirrecalada de la señal. Además, la complejidad de la identificación de la ubicación de transmisores no autorizados aumenta de forma importante con el uso de bandas de frecuencias más altas. Este asunto se trata en el párrafo 5.4.5.3.2 del Manual sobre comprobación técnica del espectro de la UIT, edición 2011. En la Fig. 14 se muestra el planteamiento convencional basado en comparación de amplitud.

FIGURA 14

Método de búsqueda del interferidor basado en comparación de amplitud

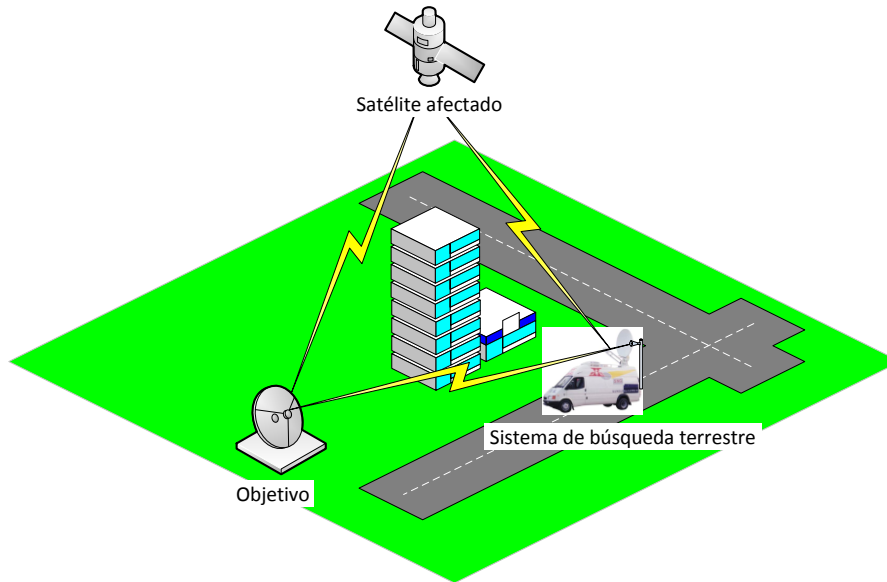


7.2.2 Uso del algoritmo de correlación cruzada para mejorar la sensibilidad del sistema

En la Fig. 15 se muestra un método cooperativo de localización satélite-Tierra que utiliza un algoritmo de correlación cruzada. La antena fija o la antena receptora montada en el vehículo, ambas apuntan al satélite al que se está interfiriendo, se instalan para recibir el lóbulo principal de la interferencia en la frecuencia de enlace descendente. Al mismo tiempo, una antena direccional transportable o montada en un vehículo recibe el lóbulo lateral de la interferencia en la frecuencia ascendente. Las dos señales se recopilan simultáneamente y se transmiten a través de una red inalámbrica para las mediciones de correlación cruzada basadas en la función de ambigüedad cruzada. Un pico de correlación en el resultado implica que el emisor objetivo se encuentra relativamente cerca y el pico máximo representa la dirección de la fuente de interferencia. Este asunto se trata en el capítulo 5.4.5.3.3 del Manual sobre comprobación técnica del espectro de la UIT, edición 2011.

FIGURA 15

Radiobúsqueda en tierra mediante algoritmos de correlación cruzada en un sistema de localización conjunto satélite-Tierra



7.2.3 Uso del planteamiento de comprobación técnica aéreo para la detección rápida de la interferencia

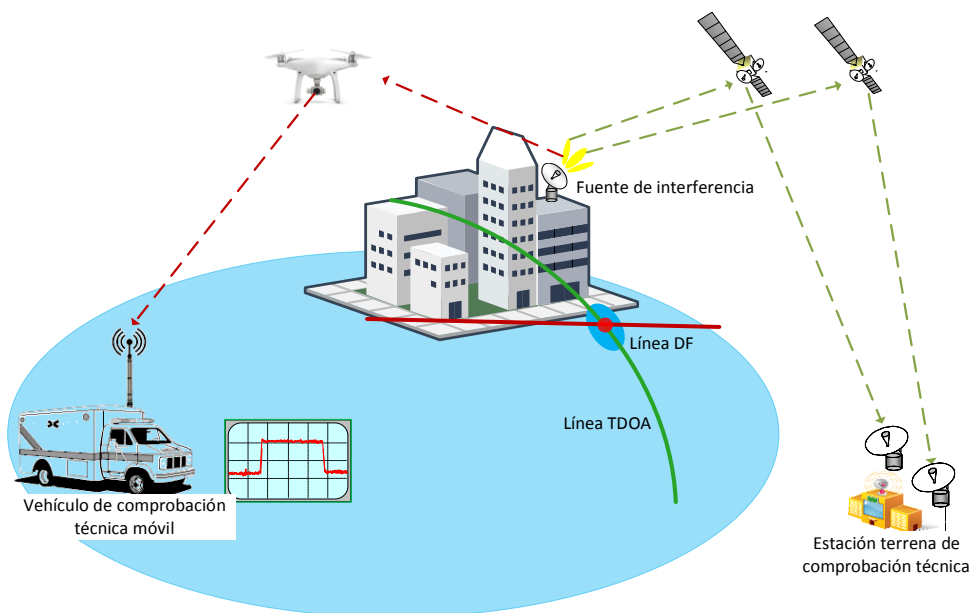
La antena transmisora se apunta hacia el satélite, mientras que el receptor de la señal se mantiene sobre la Tierra de forma que el lóbulo lateral de la señal sea suficientemente débil y difícil de detectar. Además, la mayoría de los emisores interferentes se encuentran en zonas urbanas y la señal es probable que se encuentre bloqueada por edificios. Por ello, los métodos de búsqueda terrestres mencionados en los párrafos 7.2.1 y 7.2.2 necesitan mucho tiempo.

Para resolver el problema de la búsqueda en la «última milla», se propone realizar la búsqueda de fuentes interferentes espaciales mediante vehículos aéreos no tripulados (UAV). De esta forma se aprovecha la ventaja de la altitud del UAV para ampliar el horizonte visible, superar obstáculos o edificios, mejorar la potencia recibida (la antena receptora se encuentra cerca del lóbulo principal de la señal interferente) y, por tanto, aumentar la probabilidad de conseguir buenas mediciones radiogoniométricas. Como se muestra en la Fig. 16, la combinación de los resultados de geolocalización y radiogoniométricos pueden ser una forma efectiva y práctica para encontrar las fuentes de interferencia.

El resultado de geolocalización se puede utilizar como información *a priori*. Se puede obtener la línea TDOA, puesto que es bastante estable y precisa. El UAV hace una búsqueda radiogoniométrica de la señal interferente mediante un barrido mecánico que da lugar a la línea DF. La intersección entre la línea TDOA y de la línea DF es la posición del emisor interferente. La carga útil en el UAV realiza mediciones radiogoniométricas mediante la comparación de amplitud utilizando una antena radiogoniométrica.

FIGURA 16

Método de búsqueda de interferencias con UAV a partir de la línea TDOA y de la línea DF

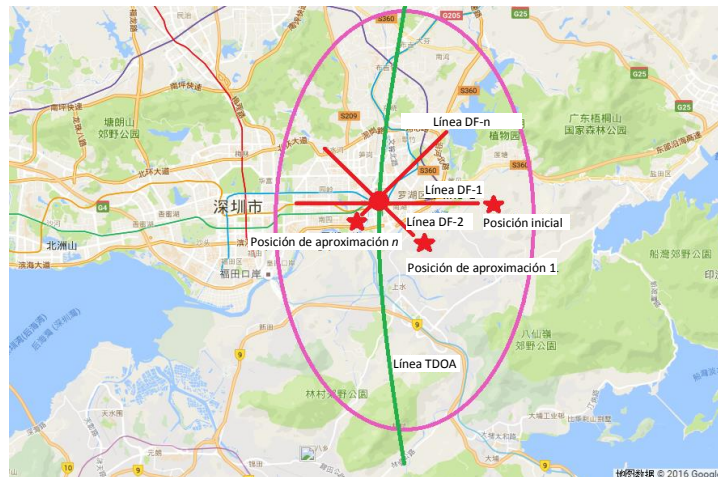


Partiendo de la base de que la línea TDOA es precisa y se encuentra en la dirección Norte-Sur y que un ángulo amplio entre la línea TDOA y la línea DF facilita una mejor precisión de localización, el procedimiento de búsqueda puede ser el siguiente:

Tras completar la geolocalización, se accede a la zona indicada por el resultado de geolocalización y se despliega el UAV hacia el Este o el Oeste de la línea TDOA. Se realiza una búsqueda de dirección y se obtiene la posible posición de la fuente de interferencia a partir de la intersección de la línea DF y de la línea TDOA. Posteriormente, se ajusta la posición del UAV para obtener otra línea DF y reducir el error generado en la búsqueda de dirección. Luego se ajusta la posición del UAV repetidas veces para aproximarse a la posición real del emisor interferente.

El procedimiento de búsqueda se muestra en la Fig. 17. La zona elíptica es el resultado de la geolocalización que muestra la zona en la que probablemente se encuentra el emisor interferente, la línea verde es la línea TDOA resultante de la geolocalización, las estrellas rojas indican la posición del UAV, las líneas rojas son las líneas DF resultantes de la búsqueda del UAV y el punto rojo en el centro es la posición del emisor interferente.

FIGURA 17

Procedimiento de búsqueda de la fuente de interferencia**Anexo 1****Categorías de estaciones de comprobación técnica de satélites**

Cuando se consideran diferentes casos de comprobación técnica, se deben considerar la operación y el despliegue flexibles de diferentes tipos de sistemas de comprobación técnica.

Los sistemas de comprobación técnica fijos son vitales para una estación de comprobación técnica, en particular para la comprobación técnica de satélites con haces globales y de satélites con haces regionales y para la geolocalización de transmisores sobre la Tierra. Los sistemas de comprobación técnica no fijos son necesarios para la comprobación técnica de satélites con haces puntuales, radiogoniometría y pruebas del entorno electromagnético, y actúan asimismo como instalaciones auxiliares para el sistema de geolocalización.

A1.1 Estación de comprobación técnica fija

Con el fin de cumplir los requisitos de medición del Reglamento de Radiocomunicaciones, es fundamental un sistema de comprobación técnica fijo para las estaciones de comprobación técnica de satélites. Se recomienda instalar el sistema de comprobación técnica fijo en una ubicación que cumpla con los requisitos de un entorno electromagnético «limpio», con el fin de conseguir resultados óptimos durante la recepción de la señal del satélite, así como para realizar posteriormente mediciones y análisis.

El tamaño de la antena determina la ganancia de la antena de forma que debe ser suficientemente grande para permitir una recepción adecuada de las señales. Esquemas de modulación de mayor orden necesitan relaciones C/N superiores. Para garantizar la coherencia de los resultados de las mediciones a largo plazo, las pérdidas de transmisión deben comprobarse periódicamente siendo una de las principales tareas del mantenimiento del sistema.

A1.2 Estación de comprobación técnica transportable

Los sistemas de comprobación técnica transportables son sistemas auxiliares al sistema de comprobación técnica fijo. Se pueden transportar en vehículos de comprobación técnica o instalar temporalmente en cualquier lugar fuera de la cobertura del haz del sistema de comprobación técnica fijo. Estos sistemas se utilizan normalmente para llevar a cabo mediciones de señales de satélites a lo largo de las fronteras nacionales, cerca de puertos y alrededor de regiones significativas durante eventos de importancia.

Además, los satélites con haces puntuales tienen una cobertura pequeña por haz (de sólo cientos de kilómetros) por lo que los sistemas de comprobación técnica transportables serán en definitiva indispensables.

A1.3 Estación de comprobación técnica móvil

Se puede instalar sistemas de comprobación técnica móviles en vehículos y se pueden operar mientras se encuentran en movimiento o en ubicaciones fijas. Se utilizan para realizar la comprobación técnica del espectro, la determinación de señales y la radiogoniometría de fuentes de interferencia o de otros transmisores de interés, así como para pruebas del entorno electromagnético en determinadas zonas durante acontecimientos importantes.

A1.4 Estación de comprobación técnica aérea

Los sistemas de comprobación técnica aéreos son sistemas auxiliares al sistema de comprobación técnica móvil y se utilizan para realizar la comprobación técnica del espectro y la radiogoniometría de forma rápida mediante el uso de un UAV o de una aeronave. Estos sistemas pueden evitar con facilidad pérdidas de propagación indeseables producidas por objetos sobre la superficie y sólo se tienen que considerar pérdidas de propagación de visibilidad directa. No obstante, la operación inadecuada de un UAV puede causar problemas de seguridad a objetos voladores tales como aviones, por lo que se insta encarecidamente a cumplir las leyes y reglamentos correspondientes de la operación de UAV.

A1.5 Estación de comprobación técnica transportable

Los sistemas de comprobación técnica transportables resultan convenientes y útiles para la radiogoniometría de fuentes de interferencia o de transmisores de interés en la comprobación de la última milla. Estos sistemas disponen al menos de una antena omnidireccional, una antena directiva, un LNA (o LNB) y un analizador de espectro.

Anexo 2

Formatos de datos de efemérides de satélites

A2.1 Formato de TLE

Los TLE son un conjunto de dos líneas de datos que enumeran los elementos orbitales y describen el tiempo, la coordinación, la posición y la velocidad de un objeto en órbita alrededor de la Tierra con seis elementos Kepler. La representación de los datos TLE es propia de los modelos de perturbaciones simplificados (SGP, SGP4, SDP4, SGP8 y SDP8), de forma que cualquier algoritmo que utilice un TLE como fuente de datos debe implementar uno de los modelos de perturbación simplificados para calcular correctamente el estado de un objeto en el instante de interés.

La red de vigilancia espacial de los Estados Unidos realiza un seguimiento de todos los objetos detectables en órbita terrestre y genera los TLE correspondientes para cada objeto. Los TLE de objetos no clasificados se publican en un sitio web patrocinado denominado Space Track. El formato de TLE está de hecho normalizado para la distribución de elementos orbitales de objetos en órbita alrededor de la Tierra.

El conjunto de TLE puede incluir una línea de título que precede a los datos del elemento. El título no es necesario puesto que cada línea de datos incluye un único código que identifica el objeto.

El formato de TLE es el siguiente:

ISS (ZARYA)

1 25544U98067A 08264.51782528 -.00002182 00000-0 -11606-4 0 2927

2 25544 51.6416 247.4627 0006703 130.5360 325.0288 15.72125391563537

CUADRO A2-1
Descripción de TLE

Nº serie	Nº de carácter	Descripción	Ejemplo
Línea 1			
1-1	1	Número de línea de dato de elemento	1
1-2	2	Espacio	
1-3	3~7	Número de satélite	25544
1-4	8	Clasificación (U=No clasificado)	U
1-5	9	Espacio	
1-6	10~11	Designador internacional (dos últimos dígitos del año de lanzamiento)	98
1-7	12~14	Designador internacional (número de lanzamiento del año)	067
1-8	15~17	Designador internacional (parte del lanzamiento)	A
1-9	18	Espacio	
1-10	19~20	Año (últimos dos dígitos del año)	08
1-11	21~32	Época (día del año y porción fraccional del día)	264.51782528
1-12	33	Espacio	
1-13	34~43	Primera derivada con respecto al tiempo del movimiento medio dividido por dos	-.00002182
1-14	44	Espacio	
1-15	45~52	Segunda derivada con respecto al tiempo del movimiento medio dividido por seis (punto decimal implícito)	00000-0
1-16	53	Espacio	
1-17	54~61	Término BSTAR (punto decimal implícito)	-11606-4
1-18	62	Espacio	
1-19	63	Número 0 (originalmente sería el «tipo de efemérides»)	0
1-20	64	Espacio	
1-21	65~68	Número de conjunto de elemento. Aumenta cuando se genera un nuevo TLE para este objeto	292

CUADRO A2-1 (*fin*)

Nº serie	Nº de carácter	Descripción	Ejemplo
1-22	69	Suma de comprobación (módulo 10) (letras, espacios en blanco, periodos, signo más=0, signo menos=1)	7
Línea 2			
2-1	1	Número de línea	2
2-2	2	Espacio	
2-3	3~7	Número de satélite	25544
2-4	8	Espacio	
2-5	9~16	Inclinación (grados)	51.6416
2-6	17	Espacio	
2-7	18~25	Ascensión recta del nodo ascendente (grados)	247.4627
2-8	26	Espacio	
2-9	27~33	Excentricidad (punto decimal implícito)	0006703
2-10	34	Espacio	
2-11	35~42	Argumento del perigeo (grados)	130.5360
2-12	43	Espacio	
2-13	44~51	Anomalía media (grados)	325.0288
2-14	52	Espacio	
2-15	53~63	Movimiento medio [revoluciones por día]	15.72125391
2-16	64~68	Número de revoluciones y época [revoluciones]	56353
2-17	69	Suma de comprobación (módulo 10)	7

Anexo 3

Comprobación técnica de interferencias generadas por satélites en bandas atribuidas al servicio de radioastronomía a título primario

A3.1 Introducción

La antena que se debe utilizar para las mediciones de interferencia posteriores al lanzamiento precisa de capacidad de seguimiento, ganancia elevada (normalmente 40 dBi) y receptores con nivel de ruido relativamente bajo. Puesto que en la Recomendación UIT-R RA.769 se han fijado valores umbral de 0 dBi para la entrada por el lóbulo lateral y no para la entrada por el lóbulo principal, un sistema de comprobación técnica con estas especificaciones puede conseguir una detección rápida de las señales interferentes con una relación interferencia/ruido adecuada. Para evitar introducir dispositivos no deseados, el trayecto de la señal del receptor debe ser muy lineal.

La adquisición de datos se describe en el párrafo A3.2. Los niveles necesarios de la señal y los umbrales se describen en el párrafo A3.3. La antena de comprobación técnica necesita estar bien calibrada mediante fuentes radioeléctricas celestes intensas con una defp conocida. Este

procedimiento se describe en el párrafo A3.4. Finalmente, el procedimiento para identificar las interferencias se describe en el párrafo A3.5.

A3.2 Adquisición de datos

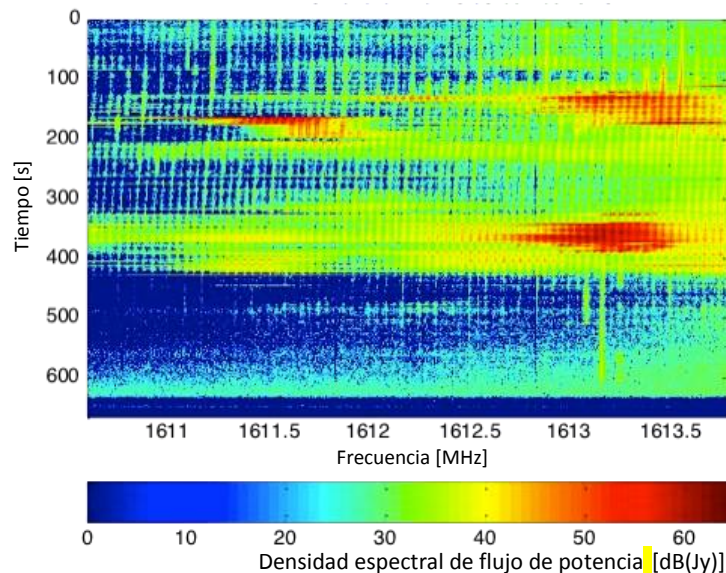
Las mediciones para la determinación de la pérdida de datos se realizan como una serie temporal de N mediciones en un intervalo de tiempo Δt que cubre M canales de frecuencia con una anchura de banda Δf .

La adquisición de datos se consigue mejor con un analizador de espectro multicanal, como un banco de filtros digital, con cientos o miles de canales de frecuencia simultáneos bien aislados. Esto proporciona una cobertura simultánea de toda la banda de radioastronomía. En la práctica, las velocidades de datos típicas son de un espectro por segundo, aunque se pueden necesitar velocidades superiores en algunos casos para capturar toda la gama de escalas temporales de interferencia.

En la Fig. 18 siguiente se muestra una presentación típica de los datos observados tras la calibración. En este caso, el umbral de interferencia perjudicial de líneas espectrales es el de la Recomendación UIT-R RA.769, es decir, -238 dB(W/m²/Hz) o $+22$ dBJy ($1\text{Jy} = 10^{-26}$ (W/m²/Hz)). La banda en este ejemplo no se utiliza para observaciones del continuum.

FIGURA 18

Diagrama de ocupación tiempo-frecuencia en la banda de radioastronomía 1.610,6-1.613,8 MHz



El intervalo de medición es de 1 segundo y la anchura de banda del canal de medición es de 6,1 kHz. Este diagrama incluye $N = 630$ registros de datos y $M = 420$ canales espectrales dentro de la banda del servicio de radioastronomía (RAS).

Agradecimientos: Estos datos se han obtenido de la estación de comprobación técnica de satélites situada en Leeheim, Alemania, operada por la Agencia Federal Bundesnetzagentur utilizando un espectrómetro del Instituto Max Planck para la radioastronomía.

Durante el tratamiento, se pueden promediar los registros de datos individuales con el fin de lograr una mayor sensibilidad. De forma similar, el sistema de comprobación técnica puede tener anchuras de canales espectrales que sean más estrechas que las anchuras de banda espectrales de referencia presentadas en la Recomendación UIT-R RA.769, que varían entre 10 kHz por debajo de 1 GHz y 1 MHz por encima de 60 GHz, siempre que se realice la conversión adecuada de anchura de banda durante el análisis para determinar el nivel de interferencia.

A3.3 Niveles de señal y umbrales

Las señales recibidas por la estación de comprobación técnica, provenientes de fuentes radioeléctricas de calibración y de emisiones no deseadas de satélites, a menudo se encuentran enmascaradas por el ruido de observaciones individuales breves, aunque se pueden reconocer después de sumar múltiples observaciones. Debido a las características de ruido blanco tanto del sistema receptor como del cielo, el uso de integraciones más largas reduce el nivel de ruido rms ΔT para una medición según:

$$\Delta T = T_{sys} / \sqrt{(\Delta t \Delta f)} \quad (1)$$

donde, T_{sys} es la temperatura de ruido del sistema, Δt es el tiempo total durante el que se han promediado observaciones individuales y Δf es la anchura de banda en la que se han promediado los canales individuales del espectrómetro.

Una evaluación cuantitativa del porcentaje de pérdida de datos en las bandas del RAS se basa en la identificación de señales interferentes en los registros de datos que superan los niveles de interferencia perjudicial enumerados en la Recomendación UIT-R RA.769. Estos se basan en un intervalo de tiempo de referencia bien definido de 2.000 segundos (unos 33 minutos) y en una anchura del canal de referencia bien definida (Δf_{ref}) o una anchura de banda del continuum de referencia (Δf_b).

Los niveles de densidad de flujo T_{spec} y T_{cont} que se deben utilizar durante la evaluación de la pérdida de datos en las bandas del RAS se obtienen respectivamente de los valores de la línea espectral de $defp$ de banda estrecha (subíndice spec) o de los valores de $defp$ provenientes de las observaciones del continuum de banda ancha (subíndice cont). Se utilizan para ajustar la anchura de banda pertinente y los parámetros de duración enumerados en la Recomendación UIT-R RA.769:

$$T_{spec}(\Delta t, \Delta f) = defp_{spec}(RA.769, \text{cuadro 2}) + 5 \log ((\Delta f_{ref} / \Delta f) (2000 / \Delta t)) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (2a)$$

$$T_{cont}(\Delta t, \Delta f) = defp_{cont}(RA.769, \text{cuadro 1}) + 5 \log ((\Delta f_b / \Delta f) (2000 / \Delta t)) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (2b)$$

donde 2.000 segundos es el intervalo de tiempo de referencia. Para observaciones de líneas espectrales el valor que se debe utilizar para Δf_{ref} es igual a la anchura de banda del canal que figura en la Recomendación UIT-R RA.769. Para observaciones del continuum la anchura de banda de referencia Δf_b es la anchura de banda atribuida al SRA para bandas por debajo de 60 GHz y 8 GHz para todas las bandas de frecuencias más elevadas (véase la Recomendación UIT-R RA.769).

Los niveles umbral de la Recomendación UIT-R RA.769 se basan en señales que son el 10% de las fluctuaciones de ruido integradas en el sistema de detección utilizando una ganancia de 0 dBi y las temperaturas del sistema de radioastronomía enumeradas en la Recomendación. Estos umbrales de detección necesitan ser corregidos para ganancias de la antena de comprobación técnica superiores a 0 dBi y para la relación entre las dos temperaturas del sistema (véase la ecuación (1)), como se muestra a continuación.

Los niveles de entrada para el haz principal con la antena de comprobación técnica para una señal interferente con una intensidad igual a los niveles umbral de la Recomendación UIT-R RA.769 son:

$$S_{spec}(\Delta t, \Delta f) = -(G+10) + [10 \log (T_{sys,ref} / T_{sys,mon})] + T_{spec}(\Delta t, \Delta f) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (3a)$$

$$S_{cont}(\Delta t, \Delta f) = -(G+10) + [10 \log (T_{sys,ref} / T_{sys,mon})] + T_{cont}(\Delta t, \Delta f) \quad (\text{dB(W/m}^2/\text{Hz)}) \quad (3b)$$

Los niveles de $T_{spec}(\Delta t, \Delta f)$ y $T_{cont}(\Delta t, \Delta f)$ de la Recomendación UIT-R RA.769 se obtienen de las ecuaciones (2a) y (2b) y la ganancia G de la antena de comprobación técnica se expresa en dB. Los términos en las ecuaciones (3a) y (3b) reflejan la diferencia entre la temperatura del sistema que figura en la Recomendación UIT-R RA.769 ($T_{sys,ref}$) y la temperatura del sistema de comprobación técnica ($T_{sys,mon}$).

A3.4 Calibración del sistema

Las mediciones de antenas para la comprobación técnica generan datos en unidades de temperatura de antena (T_A). Estos se convierten en unidades de densidad espectral de flujo de potencia defp (dB(W/m²/Hz)) o Janskys (10^{-26} (W/m²/Hz)). Estos factores de conversión deben conocerse con precisión en función de la frecuencia. El procedimiento para establecer la calibración es:

- 1) realizar observaciones ON en la banda de frecuencias deseada de algunas fuentes celestes del continuum intensas, con densidades de flujo conocidas (en Janskys), tales como Centaurus A, Virgo A u otros calibradores intensos; y
- 2) realizar observaciones OFF para cada calibrador en una zona cercana de cielo ‘limpio’ para determinar la referencia cero de la señal.

El factor de conversión, en Janskys/K, se obtiene dividiendo la intensidad de la fuente en Janskys por la diferencia de la señal medida ($T_A(\text{ON}) - T_A(\text{OFF})$). Este parámetro de sensibilidad da el número de Janskys que se precisan para generar un Kelvin de señal en la estación de comprobación técnica. Se pueden dar en Janskys tanto la intensidad de la fuente radioeléctrica como los niveles de las señales perjudiciales.

A3.5 Identificación de la interferencia de RF

Los niveles de interferencia promedio y máximos dentro de las bandas del SRA deben estar respectivamente por debajo del continuum y de los niveles de las líneas espectrales que figuran en la Recomendación UIT-R RA.769. En otro caso, se consideran como pérdida de datos. Cabe destacar que las bandas del SRA están etiquetadas como únicamente líneas espectrales, únicamente continuum o ambas.

En el caso de líneas espectrales, se deben evaluar, utilizando la ecuación (2a), todos los canales de anchura de banda Δf situados dentro de la banda del SRA, independientemente de la presencia de interferencias por encima del umbral perjudicial de la línea espectral. El máximo debe estar situado por debajo del nivel perjudicial en todos los canales. En el caso del continuum, se debe evaluar el nivel de interferencia promedio en toda la banda utilizando la ecuación (2b).

Tras la calibración de los registros de datos y la conversión de la temperatura de la antena (K) en unidades de densidad de flujo, se evaluará el registro de datos en cada intervalo de medición para determinar la presencia de interferencias que superen los correspondientes niveles umbral perjudiciales para la línea espectral o el continuum (véanse las ecuaciones (2a) y (2b)). Este procedimiento genera un diagrama de ocupación tiempo-frecuencia de las mediciones (diagrama en cascada) con dimensiones de N registros y M canales espectrales. La Fig. 18 es un ejemplo de este tipo de medición calibrada de interferencias que varían con rapidez durante el paso de un satélite.

Las fuentes de interferencia con espectro ensanchado emiten niveles de potencia bajos en toda una amplia anchura de banda. Las mediciones ON-OFF de interferencia de espectro ensanchado precisan cubrir una anchura de banda suficiente con el fin de detectar el aumento en la defp.

En general, el intervalo de tiempo de medición debe ser suficientemente corto para mostrar la variabilidad temporal y las características de interferencia de la señal interferente. No obstante, cuando la fuente de interferencia es persistente y cuando se utiliza variabilidad de frecuencia o barrido de frecuencia, el uso de un intervalo de tiempo corto puede no detectar señales interferentes situadas por debajo del umbral. En este caso es necesaria una medición integrada en un intervalo de tiempo que cubra el periodo de la variabilidad o del ciclo de repetición.