

## RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1681-0\*

**Medición de emisiones de bajo nivel procedentes de estaciones espaciales en las estaciones terrenas de comprobación técnica utilizando técnicas de reducción del ruido**

(2004)

**Cometido**

Con objeto de proteger de interferencias los servicios pasivos, en particular el servicio de radioastronomía (SRA), es muy importante medir las emisiones de bajo nivel procedentes de estaciones espaciales en las estaciones terrenas de comprobación técnica utilizando técnicas de reducción del umbral mínimo de ruido. Además de proporcionar los elementos necesarios para la comprobación técnica, la Recomendación establece un método para reducir el umbral mínimo de ruido mediante técnicas de procesamiento digital de la señal.

**Palabras clave**

Emisiones de bajo nivel, estaciones espaciales, técnicas de reducción del ruido

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que es necesario proteger el servicio de radioastronomía (SRA) contra la interferencia;
- b) que los objetos observados en el espacio en frecuencias utilizadas por el SRA tienen, en principio, niveles de dfp extremadamente bajos cuando llegan a la superficie de la Tierra;
- c) que para tales observaciones se han elaborado técnicas de recepción cuya sensibilidad permite distinguir las señales de intensidad muy inferior al umbral mínimo de ruido;
- d) que una de las tareas de las estaciones terrenas de comprobación técnica es la de controlar los niveles de emisiones no deseadas de las estaciones espaciales, como se estipula en el Reglamento de Radiocomunicaciones;
- e) que puede ser necesario informar a otras partes de los resultados de las mediciones,

*recomienda*

- 1** que las estaciones terrenas de comprobación técnica midan las emisiones no deseadas de los satélites de acuerdo con:
  - 1.1** los requisitos para la comprobación técnica que figuran en el Anexo 1;
  - 1.2** el método establecido para reducir el umbral mínimo de ruido mediante una técnica de procesamiento digital de la señal, que se describe en el Anexo 2;
- 2** que los resultados queden registrados como se indica en el Anexo 3.

---

\* La Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones introdujo en 2018 y 2019 modificaciones de redacción en esta Recomendación, de conformidad con la Resolución UIT-T 1.

## Anexo 1

### Requisitos para la comprobación técnica

#### 1 Introducción

Para medir las emisiones no esenciales y las emisiones fuera de banda de bajo nivel con objeto de proteger el SRA, las instalaciones espaciales de comprobación técnica deben tener en cuenta los siguientes requisitos.

#### 2 Prerrequisitos de comprobación técnica

**2.1** Deben conocerse los niveles de dfp del SRA que se deben proteger.

**2.2** Hay que disponer de la capacidad técnica necesaria para llevar a cabo la comprobación técnica de las emisiones de bajo nivel.

**2.3** Es preciso determinar el orden de magnitud de la reducción del umbral mínimo de ruido en comparación con los criterios normales de comprobación técnica espacial para la comprobación técnica de los servicios fijo y de radiodifusión de comunicaciones espaciales.

#### 3 Parámetros técnicos que se deben comprobar

**3.1** Se deben comprobar los valores normales de los parámetros de la comprobación técnica espacial que caracterizan a las fuentes de emisión; es decir, frecuencia, ubicación orbital, o los elementos, tiempo, densidad de potencia, polarización, anchura de banda, modulación, características espectrales, método de acceso, y transmisión de onda continua/por ráfagas.

**3.2** La densidad de potencia de la emisión se debe registrar como dfp y dfp espectral.

#### 4 Procedimiento de comprobación técnica (véase también el Manual del UIT-R – Comprobación técnica del espectro)

**4.1** Adquisición de la fuente de interferencia.

**4.2** Medición de la frecuencia.

**4.3** Determinación de la polarización.

**4.4** Medición de la anchura de banda.

**4.5** Medición de la dfp utilizando el método de reducción del ruido descrito en el Anexo 2.

#### 5 Confirmación de los resultados de las mediciones

En la medida de lo posible, se deben corroborar los resultados mediante otra estación terrena de comprobación técnica que figure en la lista de estaciones internacionales de comprobación técnica de la UIT.

## Anexo 2

### Método para reducir el umbral mínimo de ruido mediante procesamiento digital de la señal

#### 1 Introducción

Con el fin de proteger el SRA se han especificado límites de dfp que son inferiores al umbral mínimo de ruido de los equipos de comprobación técnica. Existen diversos mecanismos para reducir el umbral mínimo de ruido. En este Anexo se define un método que utiliza procesamiento digital de la señal.

#### 2 Principio técnico

La señal de RF que debe comprobarse se recibe mediante una antena directiva y se le somete a una conversión descendente hasta el nivel de FI. La señal de FI analógica se convierte en muestras de la señal digital. Esta señal digitalizada se convierte a su vez en banda base digital. A continuación, se aplica la transformada rápida de Fourier (TRF) para pasar del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia. Normalmente esta medición se repite 10 000 veces con el fin de obtener 10 000 espectros.

Este procedimiento descrito se repite en su totalidad para registrar señales de comparación. Cuando se trata de satélites no geoestacionarios, esto se realiza en el cielo siguiendo la huella dejada por el satélite ausente. En el caso de satélites geoestacionarios, es necesario que la antena de comprobación técnica se desplace ligeramente de la posición orbital. En ambos casos, las señales que resultan de la comparación se registran en el mismo entorno, incluido el ruido de la propia estación y eliminando el del satélite deseado. Estos 10 000 espectros que se utilizan para la comparación contienen el ruido pero no la señal del satélite.

En esta etapa del proceso, se pueden realizar procedimientos adicionales, por ejemplo, para eliminar, si procede, el desplazamiento causado por el efecto Doppler.

A continuación, se promedian los espectros de la señal deseada y de la señal de comparación, y se restan los valores lineales obtenidos. El resultado es un espectro de dfp de la emisión del satélite en cuestión, con una supresión del ruido del orden de, normalmente, 10 a 20 dB.

Este método aprovecha el hecho de que la señal deseada contribuye con cada uno de los numerosos espectros para su aparición, mientras que el ruido en la mayoría de los espectros se cancela a sí mismo debido a sus propiedades estadísticas.

Al restar a los espectros del satélite los espectros de comparación también se eliminan las fuentes de interferencia registradas con el ruido en ambas series de espectros.

Aplicando un método correlativo verdadero se podría lograr suprimir aún más el ruido.

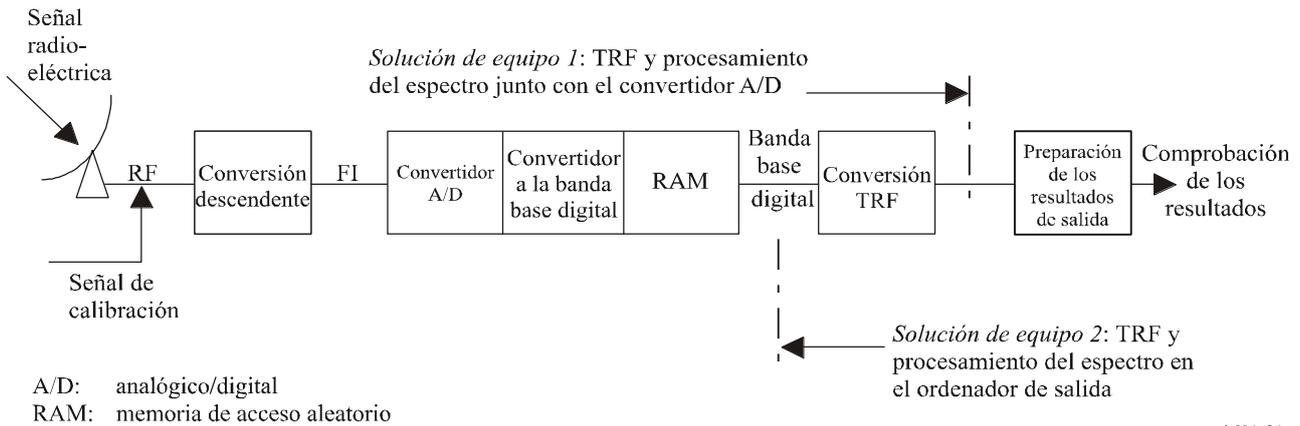
#### 3 Descripción del equipo y programa informáticos

En la Fig. 1 se muestra el diagrama de bloques para la comprobación técnica por debajo del umbral mínimo de ruido.

### 3.1 Equipo

FIGURA 1

Diagrama de bloques para realizar la comprobación técnica por debajo del umbral mínimo de ruido



La diferencia entre las dos soluciones que muestra la Fig. 1 reside en la separación entre los equipos, es decir, en la solución 1 la conexión entre los diferentes bloques se realiza tras la conversión TRF; en la solución 2 la conexión se lleva a cabo antes de aplicar la TRF. Por consiguiente, el tipo de conexión que se utilice entre los bloques puede servir de criterio para escoger una u otra solución. Otros criterios pueden ser la disponibilidad comercial de los bloques de los componentes de equipos y la máxima banda de frecuencias que se desea comprobar.

### 3.2 Programa informático

El programa informático depende en gran medida de la solución de equipo seleccionada. Por lo tanto, en este apartado el enfoque se describe mejor con un ejemplo:

Supóngase que se usa un convertidor A/D con una FI de 70 MHz, una velocidad de muestreo de 95 Mmuestras/s y un diezmado de media banda. Ello daría lugar, sin aplicar el diezmado, a una anchura de banda de:

$$0,4 \times 95 \text{ Mmuestras/s} = 38 \text{ MHz}$$

Al diezmar por 4 se obtiene  $95/4 = 23,75$  Mmuestras/s y una anchura de banda de  $38/4 = 9,5$  MHz.

Muestreando la señal de entrada durante 10 min se obtiene:

$$10 \times 60 \times 23,75 = 14\,250 \text{ Mmuestras}$$

Al aplicar una TRF de 16 384 puntos se obtienen 869 750 espectros diferentes que se pueden sumar para obtener el promedio.

En este ejemplo se supone que hay suficiente RAM para almacenar la gran cantidad de datos muestreados, o que el procesamiento de la señal es lo suficientemente rápido como para trabajar en tiempo real. Si no se dispone de esa cantidad de RAM o de velocidad de procesamiento, el intervalo de 10 min se puede digitalizar en varias ráfagas de recopilación de datos y pausas.

#### 4 Estrategia de comprobación técnica

Normalmente la señal interferente es una emisión no deseada generada por una emisión en una frecuencia asignada. En ese caso, es esencial conocer las propiedades de dicha emisión.

La estrategia de comprobación técnica depende en gran medida de los detalles técnicos de las tareas.

Es necesario observar los criterios que se mencionan a continuación con el fin de obtener resultados satisfactorios:

Antes de dar inicio a cualquier campaña de comprobación técnica se debe calibrar la configuración del montaje de pruebas. El proceso de calibración se aplica a:

- la RF;
- la ganancia del sistema; y
- la respuesta en frecuencia del sistema.

Para ello se utiliza una señal portadora, una fuente de ruido y, posiblemente, una fuente radioeléctrica astronómica, teniendo en cuenta las amplitudes adecuadas.

Es necesario seleccionar cuidadosamente:

- la gama dinámica: es preciso evitar distorsiones; quizá convenga utilizar un filtro en los trayectos de RF o de FI para suprimir señales adyacentes intensas;
- los instantes inicial y final de la comprobación técnica;
- la amplitud que ha de reproducirse;
- la resolución en frecuencia;
- el número de espectros promediados;
- la eliminación del desplazamiento por efecto Doppler;
- la temporización de la transmisión en ráfagas en caso de transmisiones AMDT, por ejemplo.

Los parámetros mencionados anteriormente se han de poder ajustar mediante programas informáticos.

Si se trata de satélites no geoestacionarios, deben escogerse las trayectorias orbitales de forma que no se vean afectadas por el sol, por la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG') o por las trayectorias de otros satélites.

Para mejorar la sensibilidad se podrían considerar otros factores:

- el registro de los espectros de comparación se debe realizar con el mismo ángulo de elevación a causa del ruido atmosférico;
- la comprobación técnica nocturna evita que haya interferencia solar;
- la supresión del ruido se puede mejorar utilizando intervalos más cortos entre la obtención de los espectros de la interferencia y de comparación;
- en caso de transmisiones AMDT, los espectros en comparación se pueden obtener durante los intervalos entre ráfagas.

## Anexo 3

## Presentación de los resultados

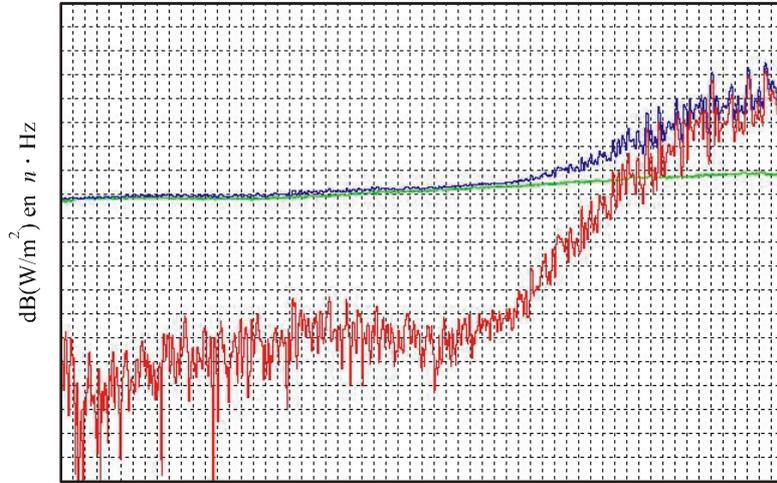
Comprobación técnica de las emisiones no deseadas procedentes de estaciones espaciales para proteger el SRA		
<b>Estación de comprobación técnica</b>	{ nombre }	<b>Administración</b> { nombre }
<b>Ubicación (latitud – longitud – sistema de proyección)</b>	{ coordenadas }	<b>Nombre del responsable de la medición</b> { nombre }
<b>Fecha de la medición (UTC)</b>	{ día/mes/año }	<b>Datos de contacto (teléfono, fax, correo-e)</b> teléfono: ... / fax: ... / correo-e: ...@... }
<b>Calidad de la estación</b>	{ factor de calidad de la estación terrena de comprobación técnica }	<b>Referencias</b>

Medición de los resultados (e incertidumbres conexas)		
df <sub>PRBW</sub> (dB(W/m <sup>2</sup> ) en ... kHz o MHz)	{ valor }	Incertidumbre ampliada de la medición – ejemplo: 2 ó 3 dB
Frecuencia (MHz)	{ valor }	Incertidumbre ampliada de la medición – ejemplo: 10 <sup>-7</sup>
Posición orbital o fuentes de los elementos de interferencia Satélite OSG (acimut (°) y elevación (°)/longitud (° W/E)) Satélite no OSG (acimut (°) y elevación (°), al inicio, en la máxima elevación y al final)	{ valores }	Incertidumbre ampliada de la medición – ejemplo: ...°
Polarización	{ tipo }	No aplicable
Otras indicaciones (por ejemplo: A/D estimación del tipo de modulación método de acceso comportamiento de la señal)		

**Espectros**

Se recomienda realizar el trazado de tres espectros: señal deseada – ruido – {señal + ruido invertido}

FIGURA 2  
**Espectros**



Frecuencia

1681-02

Información necesaria:

Frecuencia central = { ... } MHz

Amplitud = { ... } MHz

FFT: { número de } puntos

Resolución: { ... } kHz

Promedio: { número de } muestras

Instantes (UTC) relativos a

señal deseada: inicio, final

señal en comparación: inicio, final

intervalos deseados/señales en comparación:

modo de compensación del efecto Doppler:

**Observaciones**

**Presunta identidad de los satélites**

**Glosario**

A/D	Analógico/digital
AMDT	Acceso múltiple por división de tiempo
dfp	Densidad del flujo de potencia
FI	Frecuencia intermedia
TRF	Transformada rápida de Fourier
OSG	Órbita de los satélites geoestacionarios
RAM	Memoria de acceso aleatorio
RF	Radiofrecuencia
SRA	Servicio de radioastronomía
UTC	Tiempo Universal Coordinado
W/E	Oeste/Este.

---