

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1558

Metodologías para medir la $dfpe_{\downarrow}$ causada por una estación espacial de la órbita de los satélites no geoestacionarios a fin de verificar el cumplimiento con los límites operacionales de dicha $dfpe_{\downarrow}$

(Cuestión UIT-R 236/4)

(2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Estambul, 2000) (CMR-2000) adoptó una combinación de límites de densidad de flujo de potencia equivalente $_{\downarrow}$ ($dfpe_{\downarrow}$) de validación, operacionales y, para algunos tamaños de antena, operacionales adicionales para una sola fuente de interferencia que actualmente figuran en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y que también adoptó los límites combinados de la Resolución 76 (CMR-2000), que se aplican a los sistemas del servicio fijo por satélite no geoestacionario (SFS no OSG) para proteger a las redes OSG en partes de la gama de frecuencias 10,7-30 GHz;
- b) que la CMR-2000 adoptó los límites operacionales de $dfpe_{\downarrow}$ para proteger las redes operacionales del SFS OSG contra los niveles de interferencia que pueden traducirse en una degradación profunda de la calidad;
- c) que la CMR-2000 adoptó también los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ para proteger las redes operacionales del SFS OSG que emplean la codificación adaptable contra los niveles de interferencia que pueden traducirse en pérdidas de capacidad, lo que se considera una degradación profunda;
- d) que en la Resolución 137 (CMR-2000) se invita al UIT-R a elaborar, con objeto de conclusión en 2003, métodos de medición que puedan utilizar las administraciones para verificar el cumplimiento de un sistema individual del SFS no OSG con estos límites operacionales;
- e) que, como consecuencia de estas mediciones, un sistema no OSG que cause interferencia puede tener que reducir sus niveles de potencia de la $dfpe_{\downarrow}$ dirigidos hacia la estación terrena del sistema OSG afectada para cumplir los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ de una sola fuente, a menos que se acuerde otra cosa con las administraciones implicadas;
- f) que el cumplimiento de un sistema del SFS no OSG con los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ de una sola fuente no es motivo de verificación por el UIT-R;
- g) que la determinación de si un sistema del SFS no OSG rebasa el límite operacional de la $dfpe_{\downarrow}$ causado a una estación terrena operativa del sistema OSG correrá a cargo de las administraciones individuales y sus operadores de redes OSG;
- h) que es probable que las apariciones más desfavorables de casos en los que se rebasen los límites operacionales sean de corta duración (desde una fracción de segundo a algunos segundos) con un periodo de repetición que oscilará entre varios días a semanas, dependiendo de las características orbitales del sistema no OSG;
- j) que la pérdida de sincronismo o la degradación intensa puede utilizarse como umbral para la aplicación de una metodología de verificación del cumplimiento de los límites operacionales;

k) que un medio fiable de medir la interferencia real correspondiente a la $dfpe_{\downarrow}$ producida por un sistema del SFS no OSG en la estación terrena operativa del sistema OSG que sufre de interferencia ayudaría a las administraciones y a los operadores a determinar si un sistema no OSG rebasa los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$;

l) que los procedimientos de medición tienen una precisión inherente y unas limitaciones operativas que han de tenerse en cuenta durante el proceso de medida,

observando

a) que se están desarrollando procedimientos reglamentarios para permitir la resolución rápida de todo caso demostrado de rebasamiento de los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$;

b) que la Recomendación UIT-R S.1527 se ha elaborado para permitir la identificación de los satélites que pertenecen a un sistema no OSG particular;

c) que la Recomendación UIT-R S.1554 se ha desarrollado para evaluar la precisión general de las mediciones de la $dfpe_{\downarrow}$,

recomienda

1 que las administraciones y sus operadores de sistemas OSG utilicen las metodologías descritas en el Anexo 1 para determinar si la interferencia del SFS no OSG rebasa los límites operacionales de la $dfpe_{\downarrow}$ en una estación terrena operacional del sistema OSG.

NOTA 1 – Pueden identificarse otros métodos de medición. En su debido momento puede ser adecuado añadir dichos métodos a esta Recomendación.

ANEXO 1

1 Introducción

Este Anexo ofrece metodologías que permiten la medición del nivel de la densidad de flujo de potencia emitido por una estación espacial no OSG y que llega a la apertura de antena de un receptor de estación terrena operacional del sistema OSG que comparte las mismas bandas de frecuencias. Este nivel puede entonces compararse con los límites operativos de la $dfpe_{\downarrow}$ que figuran en el Artículo 22 del RR para determinar si la estación espacial no OSG rebasa dichos límites. Estos límites deben satisfacerse para cumplir con el número 22.5I del RR y también para proteger a los enlaces del SFS OSG contra las pérdidas de sincronismo o la degradación de la calidad¹ debidas al paso de satélites no OSG en las cercanías o en el haz principal de la antena de la estación terrena de sistema OSG.

Se han identificado tres métodos que tienen cada uno sus ventajas e inconvenientes. En los § 2, 3, y 4 se ofrecen detalles de cada método.

Puede recurrirse a uno o más de estos métodos si se produce una pérdida de sincronismo o una degradación de la calidad en una estación terrena de sistema OSG en un momento inesperado (es decir, que no es evidentemente debida a una lluvia elevada o a un desvanecimiento de centelleo, un evento de interrupción solar, una fuente de interferencia terrenal, tal como el radar o un evento

¹ Incluye la protección de los sistemas del SFS OSG que emplean codificación adaptable a partir de la pérdida de capacidad.

causado por fallos del equipo y/o la conmutación correspondiente. El operador de satélite OSG podrá entonces determinar mediante datos de efemérides si se ha producido un evento en línea o cuasi en línea en el emplazamiento que sufre la pérdida de sincronismo y comunicar los resultados de las mediciones al operador de sistemas no OSG en cuestión.

Se espera que los eventos en línea o cuasi en líneas sean escasos y es fundamental que cualesquiera de los métodos descritos en el § 2, 3 y 4 quede totalmente automatizado o que pueda determinarse de forma precisa el instante de una aparición repetida.

El método del § 2, es un procedimiento para identificar que se ha producido una pérdida de sincronismo o una degradación intensa y que los límites de la $df_{pe\downarrow}$ pueden haberse rebasado. Si se considera que el problema puede ser debido a una cresta de interferencia procedente de un sistema no OSG, pueden emplearse los Métodos 2 ó 3 para medir el nivel de cresta de la $df_{pe\downarrow}$. El Método 1 exige una utilización mínima de recursos de personal y de equipo.

En los § 3 y 4 se presentan métodos más detallados que pueden utilizarse como métodos autónomos de determinación más precisa de la $df_{pe\downarrow}$ o como procedimiento de seguimiento a partir del método del § 2. En ninguno de estos métodos se supone la presencia de una señal piloto no OSG especializada.

En el § 3 el nivel de interferencia se mide en las bandas de frecuencias entre portadoras adyacentes que pueden haber sufrido pérdidas de sincronismo o degradación de la calidad¹. En estos métodos se supone que la portadora de tráfico interferente tiene un ancho de banda suficiente para incluir la portadora afectada y la banda de guarda entre ella y la portadora adyacente, y que el nivel de la banda lateral de la portadora es suficientemente atenuado para poder medir el nivel de potencia de interferencia en la banda de guarda. El método también es válido para el caso en que múltiples portadoras del sistema no OSG en acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF) afecten a la portadora en cuestión y a la banda de guarda. Si la portadora del sistema no OSG tiene una anchura de banda suficiente o hay múltiples portadoras no OSG en AMDF, se minimizan los efectos debidos a la deriva de frecuencia Doppler en la portadora del sistema no OSG. En la realización preferida de este enfoque se utiliza una estación terrena de referencia (por ejemplo, una estación terrena de comprobación de sistema de portadora (CSM, *carrier system monitor*)). La ventaja clave de la utilización de la estación terrena CSM es que se evita la necesidad de conocer la ganancia de la cadena receptora de la estación terrena afectada.

El § 4 contiene unas técnicas que se valen de los sistemas de autocorrelación y de transcorrelación para obtener el nivel de interferencia a partir de una medición de la portadora del sistema no OSG en presencia de la portadora OSG afectada cuando el nivel de la portadora del sistema no OSG es muy inferior al del nivel de la portadora OSG. La elección de la técnica del § 4 a utilizar depende del nivel de conocimiento a priori de la señal del satélite no OSG que esté disponible por separado. Estas técnicas son más complicadas para el operador de sistema OSG porque se realizan en la frecuencia central de la portadora OSG.

La calibración es un factor importante al evaluar la precisión total de cada una de estas técnicas. La Recomendación UIT-R S.1554 incluye cierta información sobre este tema.

2 Método 1: Técnica rápida basada en la pérdida de sincronismo

El método que sigue es un procedimiento simplificado para identificar un posible rebasamiento de los límites operativos de la $df_{pe\downarrow}$. Esta técnica es suficiente para demostrar que los límites operacionales pueden haber sido rebasados en el caso de que se produzca una pérdida de

¹ Incluye la protección de las redes del SFS OSG que emplean codificación adaptable a partir de la pérdida de capacidad.

sincronismo de la portadora en funcionamiento del sistema OSG. Pueden ser necesarios procedimientos de medición más amplios para determinar de forma precisa los niveles de la $df_{pe\downarrow}$ causados por el sistema no OSG en la antena operacional de la estación terrena del sistema OSG.

Los pasos indicados a continuación llevarán a la determinación de si un sistema no OSG ha rebasado los límites operacionales.

Paso 1: Se registra la fecha y la hora del Tiempo Universal Coordinado (UTC) de la pérdida de sincronismo, de la forma más precisa posible, así como la duración de la pérdida en condiciones de cielo despejado y operativas nominales (véase la Nota 1) (no interrupción solar, no traspaso, fallo de equipo, etc.).

Paso 2: Se establece la correlación entre el instante de la pérdida de sincronismo y la presencia del satélite no OSG en las cercanías o dentro del haz principal de la antena de la estación terrena de sistema OSG, utilizando los datos de efemérides (véase la Nota 2) de los sistemas de satélite no OSG y OSG.

Paso 3: Se verifica la relación C/N de la portadora OSG en condiciones de cielo despejado y el valor umbral de la relación C/N en el que aparece la pérdida de sincronismo del demodulador (véase la Nota 3) para asegurarse de que no hay ningún problema técnico con la estación terrena.

Paso 4: Se calcula la $df_{pe\downarrow}$ recibida en la apertura de la antena durante la pérdida de sincronismo del Paso 1, utilizando: el balance del enlace de la portadora OSG, el umbral de la pérdida de sincronismo de la C/N del demodulador del receptor y la relación G/T de la estación terrena.

Paso 5: Se establecen los instantes de los pasos sucesivos del satélite no OSG y se vuelve al Paso 1 hasta que parezca confirmarse la correlación entre el evento de paso del satélite no OSG en las cercanías o a través del haz principal de la estación terrena OSG y una pérdida del sincronismo.

Paso 6: Si hay correlación entre el evento del paso de un satélite no OSG y una pérdida de sincronismo, y el cálculo de la $df_{pe\downarrow}$ efectuado en el Paso 4 muestra que el sistema no OSG rebasa probablemente los límites operacionales de la $df_{pe\downarrow}$, el operador del sistema OSG puede decidir utilizar un método más amplio para determinar de forma más precisa, los niveles de la $df_{pe\downarrow}$ causados por el sistema no OSG en su estación terrena operacional. El operador del sistema OSG puede también decidir avisar al operador del sistema no OSG de que dicho sistema está causando una degradación a la estación terrena OSG.

Este método contiene incertidumbres inherentes que no se dan en otros métodos, es decir, incertidumbre de la relación $C/(N+I)$ a la que un demodulador pierde el sincronismo para una velocidad binaria determinada, un tipo de modulación y una corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC), la incertidumbre de la relación C/N durante un suceso «en línea» y la variación del valor umbral de C/N en el que aparece la pérdida de sincronismo, con la duración de la cresta de interferencia.

No obstante, cuando se registra una pérdida de sincronismo y se establece la correlación con datos de efemérides, puede suponerse que se ha producido un caso de sistemas en línea.

NOTA 1 – Será importante señalar las condiciones meteorológicas en el emplazamiento de la estación terrena del sistema OSG.

NOTA 2 – Se supone que se dispone de datos de efemérides del sistema no OSG.

NOTA 3 – Esto puede efectuarse verificando la lectura de la relación E_b/N_0 del demodulador.

3 Método 2: Técnica de medición de la $df_{pe\downarrow}$ utilizando una estación terrena de referencia calibrada

3.1 Principio del procedimiento de medición

La medición de la $df_{pe\downarrow}$ en una estación terrena exige la calibración de la cadena de recepción de dicha estación terrena para obtener un factor de conversión que permita traducir las mediciones de potencia obtenidas en un punto de RF o de FI de la cadena de recepción en una $df_{pe\downarrow}$ en la apertura

de la antena receptora. La medición del nivel de potencia se efectúa en términos absolutos o relativos respecto a un nivel de referencia conocido. Este último principio se utiliza en los métodos descritos en este punto con el funcionamiento en paralelo de una estación terrena de referencia bien calibrada. Con ello se elimina la necesidad de conocer el valor preciso de la ganancia de antena y de la ganancia de la cadena de recepción para la estación terrena que se prueba.

El enfoque normal para la comprobación de un sistema de satélite implica una medición de potencia en la que se utilice un medidor de potencia, un analizador de espectro o un dispositivo de procesamiento de la señal digital (DSP, *digital signal processing*). Las mediciones constan de cuatro partes básicas:

- calibración de la ganancia del trayecto de la señal de recepción;
- medición de la interferencia más ruido del sistema no OSG;
- medición de la potencia de ruido para determinar el nivel de ruido de la estación terrena;
- medición del desvanecimiento utilizando una baliza OSG o el canal de telemedida.

Algunas de estas mediciones tienen que realizarse en sucesión rápida, antes de que cambie el entorno. Este punto describe una realización preferida de esta metodología que utiliza una estación terrena de referencia bien calibrada.

Este procedimiento de medición exige la cooperación de una estación terrena del SFS OSG bien calibrada que, simultáneamente con la estación terrena del sistema OSG afectada, pueda medir de forma precisa la potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) de la portadora OSG y/o la señal de baliza OSG. La mayoría de los operadores de satélites del SFS OSG tienen estaciones terrenas CSM que miden la p.i.r.e. de cada portadora operacional para verificar si el transpondedor del satélite funciona con su entrada prevista y en su punto de reducción de la potencia de salida. Calibrando de forma precisa la p.i.r.e. de cresta de la portadora deseada en el satélite, puede calcularse la p.i.r.e. en la dirección de la estación terrena OSG interferida. Este procedimiento aprovecha la precisión de las mediciones de la p.i.r.e. de la estación CSM, calibrando la p.i.r.e. de la portadora interferida del SFS OSG o una baliza OSG. La señal de baliza OSG puede generarse en el satélite o puede ser una portadora no modulada que se inserte entre las dos portadoras mediante una estación terrena de enlace ascendente. Si no se dispone de una estación terrena de referencia, la estación terrena afectada puede ser capaz de incorporar equipo que calibre de forma precisa la ganancia de su trayecto de la señal recibida.

A continuación se indican los pasos que pueden realizarse para aplicar este procedimiento:

Paso 1: En primer lugar, se verifica el nivel de la portadora OSG o de la señal de baliza y el nivel de la relación portadora/ruido (C_{OSG}/N) se obtiene a partir de la medición de la relación $(C_{OSG} + N)/N$ utilizando un dispositivo adecuado de medición de potencia (véase la ecuación (1)). Esta medición puede efectuarse automáticamente y preferentemente poco antes e inmediatamente después de una ráfaga medida de interferencia no OSG. Este nivel se relaciona con la dfp incidente en la antena que procede del satélite OSG, la cual se calcula fácilmente (véase la ecuación (2)).

La relación matemática entre el cociente $(I + N)/N$ ($I_{no\ OSG} + N)/N$ (dB) y el cociente I/N ($I_{no\ OSG} + N)/N$ (dB) se indica en la ecuación (1):

$$\frac{I_{no\ OSG}}{N} = 10 \log \left(10^{0,1 \left(\frac{I_{no\ OSG} + N}{N} \right)} - 1 \right) \quad \text{dB}$$

$$\frac{I_{no\ OSG} + N}{N} = 10 \log \left(10^{0,1 \left(\frac{I_{no\ OSG}}{N} \right)} + 1 \right) \quad \text{dB} \quad (1)$$

$$dfp_{OSG} = E_s - (L_s + L_{abs}) \quad \text{dB(W/m}^2\text{)} \quad (2)$$

siendo:

dfp_{OSG} : dfp de la señal OSG recibida en la apertura de la antena

E_s : p.i.r.e. del satélite OSG en la dirección de la antena de prueba receptora (dBW)

L_{abs} : absorción atmosférica gaseosa (dB)

L_s : pérdidas de dispersión que se calculan utilizando la ecuación:

$$L_s = 10 \log(4\pi d^2) \quad \text{dB(m}^2\text{)}$$

siendo d la distancia desde la antena en prueba al satélite OSG (m).

Paso 2: El segundo paso consiste en medir el nivel de cresta del ruido de interferencia no OSG y restar el ruido de fondo del satélite OSG y otras contribuciones al ruido. El nivel de ruido debido a la interferencia no OSG puede entonces compararse al nivel medido de la señal procedente de la portadora o baliza del satélite OSG y, como las ganancias y pérdidas en toda la cadena de recepción son las mismas para ambas mediciones, si son suficientemente próximas en el tiempo y la frecuencia, el nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ no OSG puede entonces calcularse de forma precisa. El cálculo de la $dfpe_{\downarrow}$ no OSG a partir de las mediciones de la relación $(I_{no\ OSG} + N)/N$ (dB) viene dado en la ecuación (3). Todo este proceso puede automatizarse – requisito esencial de dicho método en una estación no atendida o cuando deben realizarse múltiples mediciones.

$$dfpe_{no\ OSG} = dfp_{OSG} + \left(\frac{I_{no\ OSG}}{N} - \frac{C_{OSG}}{N} \right) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 40\ \text{kHz))} \quad (3)$$

La Fig. 1 muestra una configuración de medición típica con esta técnica.

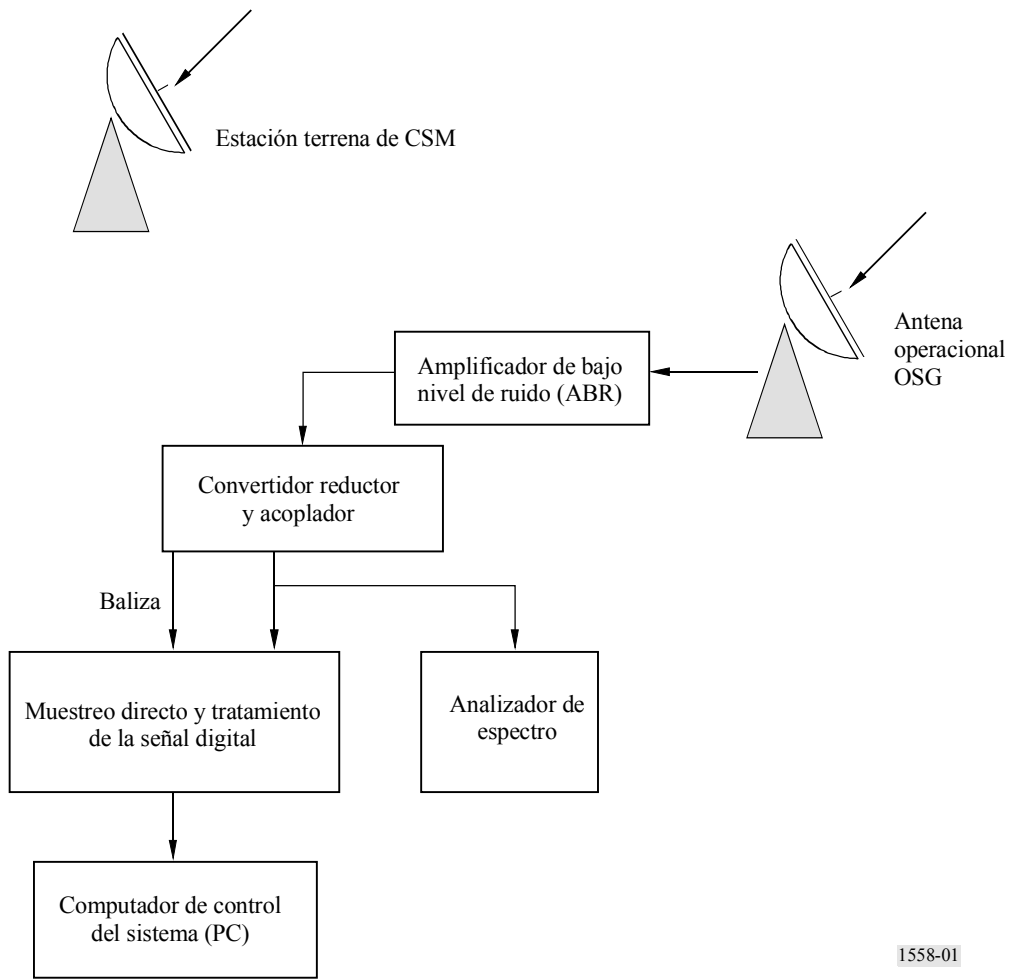
3.2 Medición de la potencia de ruido más interferencia

Tal como se ha descrito, si se dispone de una estación terrena de referencia CSM, este procedimiento de medición no exige la medida absoluta de la potencia portadora, sino únicamente una medición precisa de la relación $(C + N)/N$.

En este método se supone que el nivel de interferencia se mide en bandas de frecuencias entre portadoras adyacentes OSG que han sufrido una pérdida de sincronismo. Como la señal OSG no puede apagarse, las bandas entre portadoras ofrecen la segunda mejor oportunidad de medición después de la opción de medir la frecuencia de la portadora afectada. No obstante, en algunos casos puede no ser posible efectuar la medición entre portadoras y deben utilizarse las portadoras siguientes más próximas. En dicho caso, debe tenerse en cuenta las imprecisiones debidas a la escala de frecuencias.

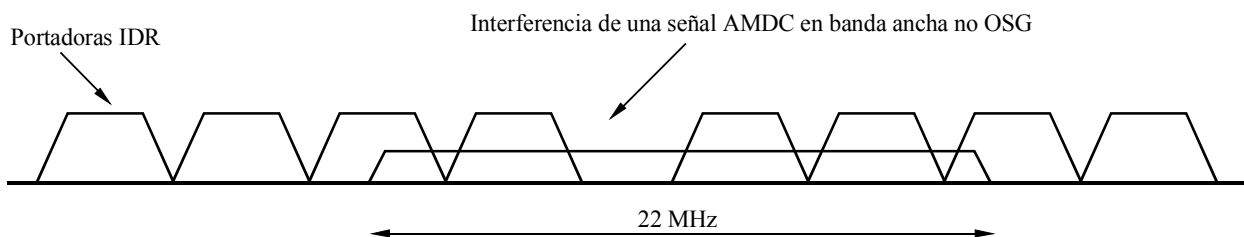
Con el enfoque descrito en el § 3 el nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ que puede medirse está limitado, porque se supone que la interferencia es de tipo digital de banda ancha con una densidad espectral de potencia uniforme. La única forma de medir la interferencia con un margen mejorado por encima del nivel mínimo de ruido y por tanto con una precisión mejor sería si el sistema no OSG da una señal de baliza en el enlace descendente. Esta baliza no OSG tendría que ser de banda estrecha con una gran densidad espectral de potencia y estar relacionada por algún valor constante con la potencia en una portadora que represente una situación de carga del 100%. No se ha estudiado aún el compromiso entre una mayor facilidad de medición y precisión y la mayor complejidad en un diseño de satélite no OSG. Para ello, la comunidad OSG tendría que dejar libre un tramo de 40 kHz (40 kHz es para la banda de 10-11 GHz y 40 kHz o 1 MHz son para la banda de 20 GHz) y el operador del sistema no OSG tendría que concebir todo su plan de frecuencias para insertar la señal de baliza en cada haz de enlace descendente de cada satélite.

FIGURA 1
Configuración típica de medición



La Fig. 1 muestra una configuración típica de medición. Se supone que la señal interferente no OSG es de banda ancha y que abarcará más de una portadora SFS del OSG, tal como se representa en la Fig. 2. Las mediciones de potencia de la portadora más el ruido ($C + N$) y de los niveles de ruido se analizarán en una banda de 40 kHz, en el periodo inmediatamente anterior y posterior al evento de interferencia. Estas mediciones de potencia pueden realizarse con un analizador de espectro analógico de gran calidad o con un analizador vectorial/espectro sofisticado que tenga un sistema de muestreo digital (DSS, *digital sampling system*) tal como se representa en la Fig. 1.

FIGURA 2
Plan típico de frecuencias para un transpondedor en banda de 14/11 GHz cargado con portadoras OSG de 2 Mbit/s e interferencia de una señal de acceso múltiple por división de código (AMDC) en banda ancha no OSG

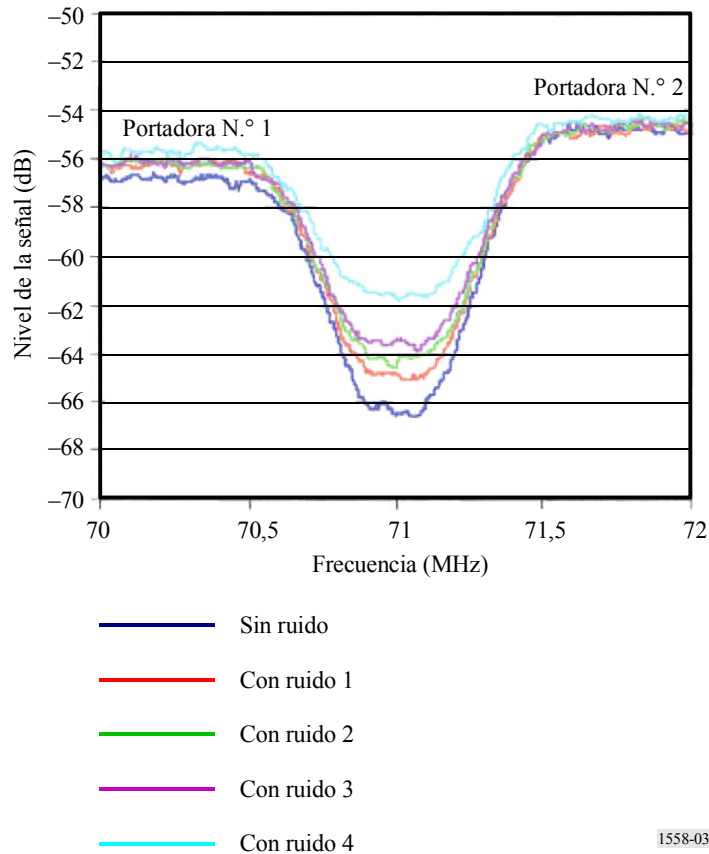


IDR: velocidad de transmisión de datos intermedia

La Fig. 3 muestra el espectro de potencia de dos portadoras digitales de 2 Mbit/s medidas con un DSS. El espectro representado se extiende en una gama de frecuencias de 2 MHz y se tomó entre dos portadoras digitales adyacentes de 2 MHz cada una. La banda de guarda entre las dos portadoras es visible y esta zona representa el umbral mínimo de ruido de la señal recibida. Esta Figura muestra que puede medirse una buena estimación de la potencia de la señal y del umbral mínimo de ruido en una anchura de banda de 40 kHz, en un periodo de sólo 64 ms, lo que sería necesario para una antena de 10 m con una apertura de haz de algunas décimas de grado.

FIGURA 3

Mediciones DSS con interferencia de ruido externo



1558-03

La Fig. 3 muestra también el aumento del nivel de la densidad de potencia entre portadoras cuando la interferencia se añade al ruido del receptor. Esta medición ilustra la forma en que se utilizarían las señales de interferencia de bajo nivel en una zona no ocupada de un transpondedor de satélite para medir la interferencia. La relación I/N para los cuatro casos es de: $-3,9$, $-1,6$, $0,0$ y $2,8$ dB.

3.3 Datos de efemérides de satélites no OSG y OSG

Un factor importante de este procedimiento de medición es la determinación del evento previsto de interferencia no OSG. La determinación del evento de interferencia utilizando los datos de efemérides públicos disponibles más actualizados es esencial para poder efectuar una medición precisa de la df_{pe} en todos los niveles de cresta previstos, pues los niveles de ruido y de señal deben verificarse inmediatamente antes y después del evento de interferencia. Será necesario efectuar una calibración de la cadena de recepción de la estación terrena OSG afectada por la estación terrena CSM en un instante próximo al evento de cresta de interferencia. Como la mayoría de los equipos de prueba están limitados en cuanto a su capacidad de memoria, la ventana de medición es crítica para asegurar que el tiempo de grabación de las mediciones abarque el evento de interferencia.

La Recomendación UIT-R S.1527 ofrece más información sobre el procedimiento para establecer la correlación del evento de satélite no OSG en línea o casi en línea con el haz principal OSG.

3.4 Medición de la baliza del satélite OSG

Durante las mediciones de la $dfpe_{\downarrow}$ no OSG pueden producirse desvanecimientos o variaciones en la portadora y en el ruido. Para asegurarse de que las mediciones de la $dfpe_{\downarrow}$ se efectúan en condiciones de cielo despejado, la estación terrena interferida y la estación terrena CSM tienen que verificar continuamente la señal de baliza del satélite OSG. Si hay varias balizas, se utilizará la más próxima a la frecuencia de interferencia. Las variaciones en el nivel de la baliza pueden ser indicativas de lluvia o efectos atmosféricos, variaciones del seguimiento del satélite o en la estación terrena, etc. Dependiendo de la causa de las variaciones y de si éstas afectan a la medición de la interferencia, puede tener que repetirse dicha medición.

3.5 Efecto del tamaño de la antena en la capacidad para realizar las mediciones de los niveles operativos de la $dfpe_{\downarrow}$

Cuanto más pequeña sea la antena de la estación terrena OSG, más difícil será realizar la medición de la potencia de interferencia con relación a la $dfpe_{\downarrow}$ incidente en la antena. Ello es debido a que es probable que los niveles de la densidad de potencia de interferencia recibidos de sistemas del SFS no OSG que se ajusten a los límites operacionales de los Cuadros del Artículo 22 del RR sean inferiores al nivel mínimo de ruido térmico para antenas más pequeñas.

El Cuadro 1 muestra relaciones entre la I/N no deseada que corresponden a límites de la $dfpe_{\downarrow}$ operacionales de una sola fuente del Artículo 22 del RR.

CUADRO 1

Límites operacionales expresados como relación entre la interferencia no deseada y el ruido que pueden medirse durante un «intervalo en línea»⁽¹⁾

Banda de frecuencias (GHz)	Nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ (que no debe rebasarse durante el 100% del tiempo)	Diámetro de la antena de la estación terrena OSG (m) o ganancia de la antena (dBi)	Relación de densidad de potencia de interferencia no deseada/densidad de potencia de ruido ⁽²⁾ (I/N) (dB)
10,7-12,75	-163 dB(W/(m ² · 40 kHz))	3 m	4,4
10,7-12,75	-166 dB(W/(m ² · 40 kHz))	6 m	7,5
10,7-12,75	-167,5 dB(W/(m ² · 40 kHz))	9 m	9,5
10,7-12,75	-169,5 dB(W/(m ² · 40 kHz))	≥ 18 m	≥ 13,5
17,8-18,6	-150 dB(W/(m ² · MHz))	≥ 49 dBi	≥ -3
19,7-20,2	-143 dB(W/(m ² · MHz))	≥ 49 dBi	≥ 3,2
19,7-20,2	-143 dB(W/(m ² · MHz))	43 dBi	-2,8

(1) Los límites del Cuadro 1 se aplican a satélites OSG con inclinaciones orbitales $\leq 2,5^\circ$.

(2) La relación real I/N será inferior debido al ruido adicional interno al sistema en el enlace descendente del satélite OSG deseado y del satélite no OSG interferente que se añadirán al ruido térmico de la antena de referencia y de su receptor. En todos los casos se ha supuesto una modulación digital y una anchura de banda ocupada al menos igual a la anchura de banda de referencia de la interferencia no OSG. En todos los casos se ha supuesto un rendimiento de la antena receptora del 65% y una temperatura de ruido del sistema receptor de 150 K (para la gama de frecuencias 10,7-12,75 GHz) y de 250 K para la gama de frecuencias 17,8-20,2 GHz.

3.6 Ejemplo práctico de los procedimientos de medición descritos en el § 3

3.6.1 Descripción de la configuración de medición y realización de los ensayos

A fin de validar el método descrito en el § 3, se efectuó un ejercicio de una semana a través de un satélite OSG, utilizando portadoras OSG típicas y una señal interferente de banda ancha cuya amplitud y duración estaban controladas por un computador.

El experimento se efectuó en la banda de 14/11 GHz a través de un satélite OSG situado a 342° E de la estación terrena de Goonhilly en el Suroeste del Reino Unido. También participaba una estación terrena CSM de Fucino, Italia, que estaba situada en las proximidades del centro del haz.

Se transmitían dos portadoras IDR normalizadas INTELSAT (modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (MDP-4) con FEC de índice 3/4) a través de una antena de 19 m y se recibían en una antena de 5,5 m. Se generó una señal con un perfil de potencia similar al de la interferencia no OSG durante los pasos en línea, utilizando un modulador MDP cuya salida se llevaba a una antena de enlace ascendente de 3,7 m a través de un atenuador de diodo PIN controlado por computador. Las formas de las crestas generadas de esta manera se controlaban con el computador para adaptarse al perfil amplitud/tiempo de la interferencia procedente de un satélite no OSG situado a 1470 km de altitud y con una inclinación de 53°, durante un paso por el centro del haz de una estación terrena de 5,5 m situada en Goonhilly y que funcionaba con un satélite OSG situado en 342° E. Para demostrar la viabilidad de las mediciones en el caso de las crestas más estrechas, se efectuaron también unas mediciones utilizando un perfil amplitud/tiempo similar al de la interferencia no OSG durante un paso por el haz de una antena de 19 m situada en el Ecuador que funcionaba con un ángulo de elevación de 90°. La señal de interferencia se modulaba con un tren binario pseudoaleatorio de 8 Mbit/s y tenía una anchura de banda de ruido de 5,7 MHz; se transmitía al mismo transpondedor que el de las dos portadoras IDR, en una frecuencia central a mitad de camino entre ellas. Las crestas de interferencia se generaban secuencialmente, cuando era necesario, y si no, el nivel de interferencia estaba al menos a 25 dB por debajo del máximo.

Se incluyeron dos tamaños de portadora IDR en el ejercicio, es decir de velocidad de información de 64 kbit/s y de 2048 kbit/s. El espectro de la señal de interferencia se superpuso completamente al espectro de las dos portadoras IDR en ambos casos. No obstante, la anchura de la banda entre los extremos de las anchuras de banda de ruido y los extremos de las anchuras de banda atribuidas de las portadoras IDR era de 24,8 kHz en el caso de portadoras de 64 kbit/s y de 637,2 kHz en el caso de portadoras de 2048 kbit/s. Había por tanto una anchura de banda adecuada para la medición de la densidad de potencia de la señal de interferencia recibida con la banda de guarda entre portadoras, siempre que la densidad de ruido del sistema se emitiese también en la banda de guarda a fin de asegurar que se incluían las contribuciones de las colas del espectro de la portadora IDR. La Fig. 4 muestra ejemplos del espectro de las portadoras IDR y la Fig. 5, de la señal de interferencia.

Se efectuaron cálculos para garantizar que, con la reducción correspondiente de la potencia de salida del transpondedor, la no linealidad tendría una repercusión despreciable en la precisión de las mediciones.

A fin de confirmar la viabilidad de la medición de las crestas de la df_{pe} en el caso de una antena muy grande, se repitieron algunos de los ensayos utilizando la antena de 19 m para recibir las portadoras y la señal de interferencia.

Las mediciones principales se efectuaron con dos portadoras IDR cuyos parámetros son los nominales de INTELSAT para la transmisión y la recepción, con los tamaños de antena de estación terrena de que se trata. No obstante, como esto lleva a relaciones C/N en cielo despejado a la entrada del demodulador del orden de 14-17 dB, se repitieron algunas de las mediciones con una reducción de la p.i.r.e. de la portadora IDR a fin de llegar a relaciones C/N de unos 10 dB, a fin de representar enlaces con estaciones terrenas en zona secas que funcionen con márgenes de lluvia pequeños y de esta manera, más próximos al umbral de pérdida de sincronismo.

Cada una de las mediciones principales se efectuó para varios niveles distintos de crestas de interferencia. El primero era un nivel próximo al límite de la $dfpe_{\downarrow}$ operacional, seguido por otro de 3 dB superior y a continuación otro de 6 dB superior. A continuación se determinó en algunos casos mediante el método de ensayo y error, el nivel al que una cresta de interferencia causaría la pérdida de sincronismo del demodulador, y en ciertos casos se determinó que el nivel era aquel por debajo del cual el enmascaramiento debido al ruido del sistema hacía razonablemente impracticable una medición precisa.

Para cada serie de mediciones se volvió a calibrar, a través del terminal CSM, el nivel de recepción de la FI con el terminal de 5,5 m (y con el de 19 m, si hacía el caso), asegurando de esta manera la precisión mejor posible.

Se ensayaron dos variaciones del Método 2 efectuando en primer lugar cada una de las mediciones principales con el Método 2A y posteriormente repitiéndolo con el Método 2B.

Método 2A: Antes de cada serie de mediciones, se calibraba con la estación CSM el nivel recibido de FI de una de las portadoras IDR. La portadora se medía con la estación CSM bien calibrada y de ahí se determinaba la p.i.r.e. del satélite hacia la estación. Sabiendo que la ganancia de la antena del satélite hacia Goonhilly es de 5,5 dB inferior a la ganancia hacia la estación CSM, y sabiendo la longitud del trayecto desde el satélite a Goonhilly, el controlador de la estación CSM pudo determinar la dfp de la portadora en la antena de Goonhilly pertinente. Se registró el nivel correspondiente de recepción de la FI en Goonhilly y se utilizó como nivel de referencia para la medición, en Goonhilly, de los niveles de las dos portadoras, C , el nivel del ruido del sistema, N , y el nivel del ruido del sistema más la interferencia I máxima cuando se recibía una cresta ($N + I$). Estas mediciones se efectuaron manualmente, examinando la pantalla de un analizador de espectro ajustado convenientemente y calculando el nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ a partir de los resultados.

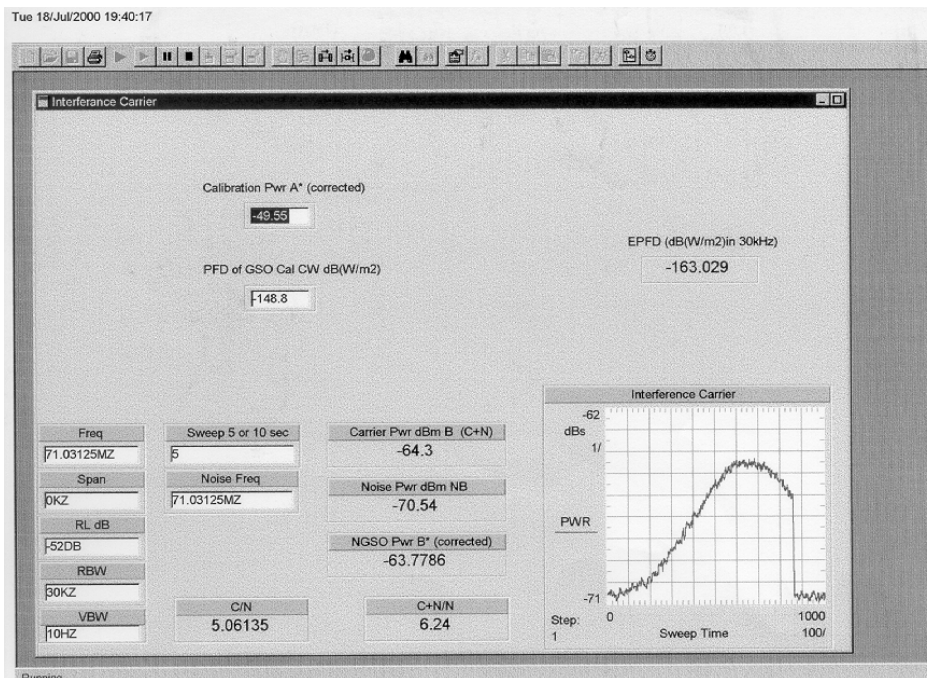
Método 2B: Antes de cada serie de mediciones se transmitía una portadora piloto no modulada mediante un terminal de 3,7 m en la banda de guarda entre dos portadoras IDR, y se recibía en el terminal de 5,5 m y en la estación CSM. Esto permitía calibrar los niveles recibidos de FI en Goonhilly de la misma manera que en el Método 2A, pero utilizando el nivel recibido de la señal piloto como el nivel de referencia. Los valores de N y ($N + I$) se midieron con una configuración automatizada. La automatización del método se efectuó utilizando un equipo ya disponible en las estaciones terrenas y el analizador de espectro se controlaba con un programa que usaba el VEE de alta potencia. En el proceso automatizado se utilizan las pendientes de subida y de caída de la salida de cresta (vídeo) de la interferencia procedente del analizador de espectro para disparar la captura de la traza mediante un computador que a continuación calculaba la cresta de la $dfpe_{\downarrow}$ a partir de los niveles de N y ($N + I$). Éste es un aspecto importante, será fundamental utilizar una configuración automatizada para las crestas interferentes que son muy escasas. La Fig. 6 muestra un ejemplo de resultados impresos.

El impulso de interferencia registrado en este ejemplo tiene una duración de unos 6 s y se adapta al perfil de amplitud/tiempo de la interferencia procedente de un satélite no OSG situado a 1470 km de altitud y con 53° de inclinación, durante un paso por el centro del haz de una antena de estación terrena de 5,5 m situada en Goonhilly y que funciona con un satélite OSG situado a 342° E. Véase que una vez que se han identificado claramente y capturado la cresta del impulso y el nivel mínimo del ruido, no es necesario retener los puntos de datos más allá de dicho impulso – esto puede verse claramente en el registro gráfico del impulso de interferencia.

Como los Métodos 2A y 2B obtienen el nivel máximo de interferencia, I , y de ahí la cresta de la $dfpe_{\downarrow}$ a partir de una medición de N seguida inmediatamente por una medición de ($N + I$), y ambas cantidades siguen el mismo trayecto desde más allá de la atmósfera hasta el punto de medición de la FI, la precisión de una medición es igual a la precisión de la última calibración. La única incógnita es la atenuación atmosférica precisa en el instante de la medición y para verificarla se midieron las señales de baliza de telemida del satélite en la banda de 11 GHz en Goonhilly y en la estación CSM varias veces cada día. De hecho, había cielos despejados en Goonhilly y en Fucino durante toda la semana de mediciones y las lecturas de la señal de baliza indicaron una variación muy pequeña de las pérdidas atmosféricas.

FIGURA 6

Ejemplo de copia impresa de computador de la medición automatizada de la $dfpe_{\downarrow}$ no OSG utilizando el Método 2B



1558-06

3.6.2 Resultados y análisis

El Cuadro 2 muestra de forma resumida los resultados de las diversas permutaciones de tamaño de antena, parámetros de portadora y métodos de medición.

El ejercicio dio la confirmación práctica de que es posible medir crestas de corta duración y aparición infrecuente de interferencia procedente de una constelación no OSG en una estación terrena de una red OSG, si los niveles de estas crestas son de un orden similar al del límite operacional. Además, estos ensayos se efectuaron sin interrupción de la portadora afectada, utilizando un analizador de espectro como el que puede encontrarse en muchas estaciones terrenas operacionales.

En el Cuadro 2, la quinta columna indica el número de mediciones de la $dfpe_{\downarrow}$ efectuadas en Goonhilly para cada grupo de circunstancias y la sexta columna indica el promedio de dichas mediciones. En la penúltima columna se indica la dispersión de los resultados respecto a la media. Conviene hacer las siguientes observaciones:

- En los casos en que puede efectuarse una comparación directa entre la misma medición utilizando los Métodos 2A y 2B, las diferencias en el promedio de la $dfpe_{\downarrow}$ son pequeñas (entre 0,07 y 0,38 dB). Se han visto diferencias de hasta 0,6 dB en ensayos individuales, aunque deben ser debidas a la tendencia en el método manual de tomar la media de una traza de ruido del analizador de espectro y en el método automatizado a responder a crestas locales de la traza. Se considera que los resultados de los dos métodos son suficientemente próximos para corroborarse entre sí.

CUADRO 2

Resumen tabular de resultados

Diámetro de la antena receptora	Combinación portadora OSG	C/N de la portadora (dB)	Método	Número de ensayos	Promedio de la $df_{pe\downarrow}$ medida (dB(W/(m ² · 40 kHz)))	Dispersión del valor (dB)	Parámetros del analizador de espectro
5.5 m	2 × 2 Mbit/s	17	2A	7	-164,92	±0,59	VBW = 10 Hz Elongación = 0 RBW = 30 kHz
			2B	11	-164,85	±0,26	
			2A	6	-158,68	±0,2	
			2B	3	-158,80	±0,16	
		2A	6	-161,47	±0,28		
		10,3	2A	5	-164,82	±0,35	
				6	-161,54	±0,18	
				6	-158,52	±0,07	
		12	2B	1	-162,44	-	
				1	-165,77	-	
				1	-166,4	-	
				1	-166,82	-	
	2 × 64 kbit/s	17	2A	5	-165,11	±0,4	VBW = 1 Hz Elongación = 0 RBW = 3 kHz
			2B	8	-164,99	±0,39	
			2A	6	-162,11	±0,42	
			2B	5	-161,81	±0,15	
			2A	6	-159,13	±0,24	
			2B	4	-158,93	±0,09	
			2A	4	-161,59 ⁽¹⁾	±0,11	
2B			4	-161,21 ⁽¹⁾	±0,19		
19 m	2 × 2 Mbit/s	10,3	2A	5	-168,62	±0,2	VBW = 10 Hz Elongación = 0 RBW = 30 kHz
				5	-165,67	±0,23	
				5	-162,55	±0,09	
		12	2B	5	-168,46	±0,2	
				5	-165,88	±0,15	
				5	-162,80	±0,1	
	2 × 64 kbit/s	14	2B	3	-167,64	±0,33	VBW = 10 Hz Elongación = 0 RBW = 30 kHz

⁽¹⁾ Nivel de la $df_{pe\downarrow}$ en el que se produce la pérdida de sincronismo.

- La dispersión de las mediciones de la $df_{pe\downarrow}$ de Goonhilly en los ensayos múltiples oscila entre ±0,07 dB y ±0,59 dB (promedio 0,22 dB) para todas las permutaciones. Así pues, puede decirse que la repetibilidad a corto plazo de los métodos es buena. Además, una medición con el Método 2B en portadoras de 2 × 2 Mbit/s con C/N = 17 dB se repitió cuatro días más tarde para el mismo valor de la p.i.r.e de interferencia medido con la estación CSM, y los resultados de la $df_{pe\downarrow}$ de Goonhilly sólo difería en -165,08 dB(W/(m² · 40 kHz)) ± 0,22 a -164,84 dB(W/(m² · 40 kHz)) ± 0,25. Así pues, la repetibilidad a medio plazo era también buena.

- Un factor que puede influir en la repetibilidad a largo plazo de los resultados es la repercusión de la calibración CSM de cualquier cambio en el perfil de ganancia del haz puntual del satélite. Para un satélite INTELSAT, los contornos de ganancia se miden de forma precisa y exhaustiva poco después del lanzamiento y se efectúan verificaciones puntuales periódicas en los diversos emplazamientos durante la vida operacional del satélite. No obstante, la diferencia entre la ganancia hacia la estación CSM y la ganancia hacia el punto de medición puede estar sujeta a variaciones de larga duración, y debe darse un margen adecuado en el balance de errores para las mediciones de la $df_{pe\downarrow}$.

A lo largo del ejercicio surgieron los siguientes puntos significativos:

- Las mediciones actuales se efectuaron con la antena que recibía la portadora afectada - una antena operacional. Una posibilidad alternativa sería utilizar una antena transportable por separado, bien calibrada y que apunte hacia el satélite OSG en cuestión. Por razones económicas y prácticas, se trataría de una antena relativamente pequeña y entonces, en la mayoría de los casos, su apertura de haz sería mayor que la de una antena que reciba la interferencia no OSG. De esta manera, su haz sería interceptado por un satélite no OSG en momentos en que el haz de la antena operacional no tenga intercepciones. En la Recomendación UIT-R S.1554 se abordan por separado éstas y otras dificultades asociadas a la utilización de dichas antenas separadas.
- Para contribuir a minimizar los errores de medición se dispuso la cooperación del controlador de la estación CSM y la estación CSM de Fucino durante este ejercicio. Cabe prever que dicha cooperación pueda continuar en circunstancias operacionales para toda estación terrena que funcione con un satélite INTELSAT y se supone que otros operadores de sistemas OSG cuentan con algún tipo de estación CSM. La autocalibración sería una alternativa, pero la precisión de las mediciones puede ser inferior en ese caso.
- La ventaja de una configuración de medición automatizada, tal como la utilizada en el Método 2B, es que se evita la necesidad de contar con personal en espera una vez por semana, aproximadamente, atento a una cresta aislada de interferencia cuya duración puede ser inferior a 1 s. Hasta la fecha, los datos de efemérides de los sistemas del SFS no OSG identifican los instantes de pasos en línea de forma razonablemente precisa, pero las crestas de interferencia más altas pueden no producirse durante cada evento en línea. Incluso con una configuración de medición automatizada, si se requiere la asistencia de un tercero (por ejemplo, el controlador de la estación CSM) para la calibración, será necesario que éste esté disponible en un instante razonablemente próximo al del evento en línea. Pero no parece haber motivo para que la calibración no se realice poco después del evento, en vez de poco antes, lo que en principio permitiría al tercero estar alerta mediante una alarma que se activaría automáticamente si la $df_{pe\downarrow}$ medida ha rebasado el límite operacional.
- Este ejercicio mostró que pueden efectuarse mediciones fiables y razonablemente precisas de la $df_{pe\downarrow}$ utilizando un analizador de espectro del tipo empleado habitualmente en las estaciones terrenas, manualmente o automáticamente con la ayuda de un computador personal. No obstante, los controles del analizador en cuanto anchura de banda de resolución, anchura de banda de vídeo y velocidad de barrido son cruciales para las mediciones, especialmente en los casos en que las velocidades binarias de portadora OSG, y por tanto la anchura de banda de la medición, son reducidas y/o la anchura de la cresta de interferencia es pequeña. Una alternativa al analizador de espectro es un DSP que se

describe en otra parte del § 3, mediante el que pueden tomarse y almacenarse más muestras durante el impulso de interferencia, antes del análisis. La estabilidad interna de dicho dispositivo sería quizás mejor que la de un analizador de espectro y se reduciría el error humano en las lecturas manuales. Un inconveniente del método DSP puede ser el de los costos de desarrollo y adquisición que implica.

- Puede ocurrir que las estaciones terrenas situadas en zonas secas reciban diversas portadoras que funcionan con márgenes de C/N reducidos, con lo cual puede haber un riesgo de pérdida de sincronismo en más de una frecuencia de la atribución al SFS en el sentido espacio-Tierra. Pero debido a las variaciones en la carga de tráfico del sistema no OSG, las pérdidas de sincronismo pueden producirse para diferentes portadoras durante distintos eventos en línea. Así pues, el operador de una estación terrena de este tipo puede desear efectuar mediciones de la $dfpe_{\downarrow}$ en más de una frecuencia durante un único evento en línea. En principio, puede hacerse así, pero la complejidad sería mayor y puede haber dificultades para efectuar diversas mediciones secuenciales en la duración de un corto impulso de interferencia. El método DSP puede ser preferible en esas circunstancias.

3.6.3 Errores de la medición

Durante el ejercicio, se identificaron las siguientes fuentes potenciales de error. Se muestran evaluaciones de cada caso de incertidumbre, en términos de su posible contribución al error, las cuales pueden combinarse estadísticamente para obtener la precisión general de la medición con un buen nivel de confianza. En la Recomendación UIT-R S.1554 se examinan con más detalle las contribuciones al error.

- a) Incertidumbre de la medición en la recepción de la estación CSM ($\pm 0,45$ dB).
- b) Incertidumbre en la calibración de la estación CSM con el nivel de recepción de Goonhilly ($\pm 0,56$ dB).
- c) Incertidumbre en la diferencia entre el nivel recibido de una señal en la frecuencia de la portadora afectada y la frecuencia central de una banda de guarda adyacente (es probable que la diferencia sea despreciable).
- d) Incertidumbre en la realización de la medición de $(I + N)/N$ con el analizador de espectro ($\pm 0,75$ dB).

3.7 Precauciones e incertidumbres de la medición

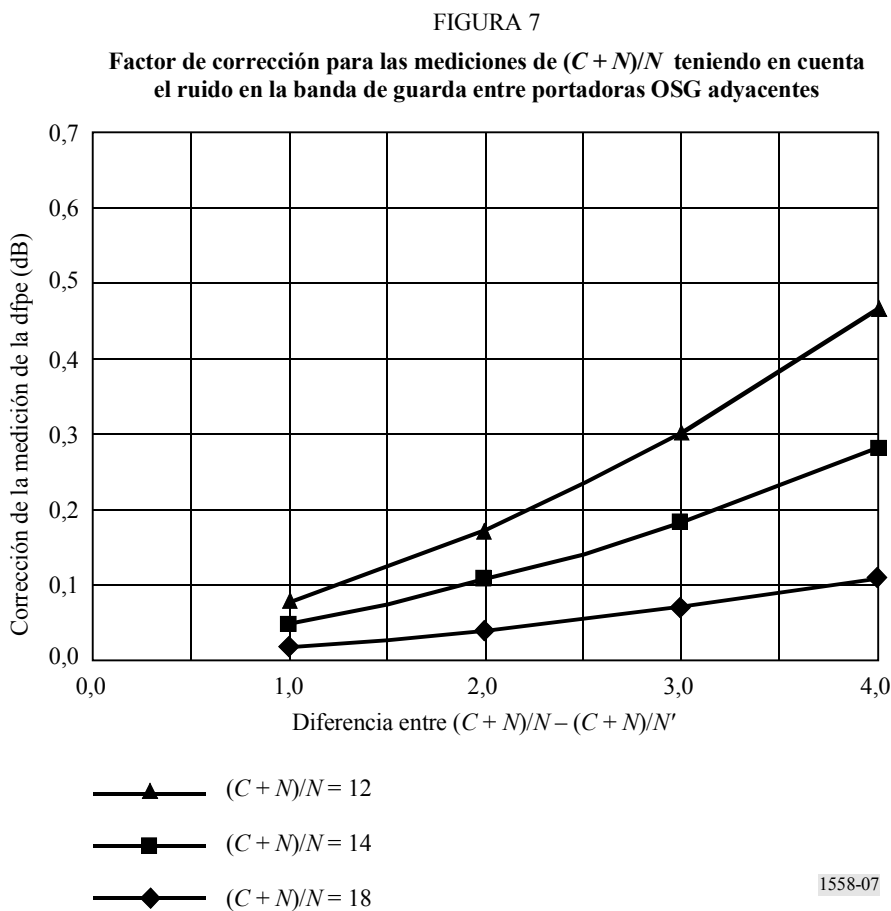
Debe señalarse que en el caso de analizadores de espectro, se dispone generalmente de anchuras de banda de resolución en pasos discretos. Sería preferible medir las densidades de potencia utilizando la misma anchura de banda de 40 kHz en la que se especifican los niveles de la $dfpe_{\downarrow}$, aunque la anchura de banda de resolución más próxima disponible en la mayoría de los analizadores de espectro es de 30 kHz. Utilizando la técnica de medición de la densidad de potencia y de ruido, puede ser necesario elegir una anchura de banda de referencia distinta para la medición de niveles de la $dfpe_{\downarrow}$ distintos de los Cuadros del Artículo 22 del RR y aplicar simplemente la escala del nivel medido al nivel requerido de cumplimiento. Con una medición DSP tal como se describe a continuación, pueden calcularse directamente las mediciones de la potencia de la portadora y del ruido en una anchura de banda de 40 kHz.

Debe prestarse atención en la medición de la relación $(C + N)/N$ con el analizador de espectro a fin de obtener la C/N . Se ha visto que la anchura de banda de referencia, la anchura de banda de vídeo, la elongación y el tiempo de barrido del analizador de espectro pueden dar resultados diferentes para mediciones de la relación $(C + N)/N$ en la banda de guarda entre dos portadoras. En todas las mediciones efectuadas con el analizador de espectro, debe verificarse que estos parámetros no cambian la precisión de la medición debido a una promediación excesiva del tiempo o de la anchura de banda.

Además, la banda de guarda entre portadoras no es siempre lo suficientemente amplia para poder realizar la medición del ruido real bajo la portadora. Por ejemplo, en la medición descrita en el § 3.6, la banda de guarda entre las portadoras de 2×64 kbit/s era de 24,8 kHz (67,5 – 42,7 kHz) y de 572,5 kHz (2002,5 – 1430 kHz) para las portadoras de 2×2 Mbit/s. Para las portadoras de 2×64 kbit/s debe utilizarse una anchura de banda de 3 kHz y para la portadora de 2×2 Mbit/s una anchura de banda de referencia de 30 kHz.

En una situación en que el transpondedor esté plenamente cargado, la medición del ruido debe efectuarse de manera adyacente a la de las portadoras interferidas. No obstante, si la banda de guarda es muy estrecha, la medición del ruido puede ser 1-2 dB superior a la del ruido térmico real, N , bajo la portadora. Si N' es el nivel de ruido de la banda de guarda, la corrección necesaria para toda medición de la $dfpe_{\downarrow}$ es la diferencia del nivel de ruido N' cuando $(C + N)/N'$ no es igual a $(C + N)/N$.

El gráfico de la Fig. 7 muestra el factor de corrección que debe utilizarse, dependiendo de la diferencia entre $(C + N)/N'$ y $(C + N)/N$.



Como puede verse en la Fig. 7, la corrección para una relación $(C + N)/N$ de 12 dB sería de 0,2-0,3 dB si $(C + N)/N'$ fuera inferior en 2-3 dB, respectivamente.

Es importante asegurarse de que el nivel mínimo de ruido del analizador de espectro sea lo más bajo posible para evitar toda restricción en la gama dinámica de las mediciones. Generalmente, para mediciones precisas del nivel de FI, el umbral de ruido del analizador de espectro debe ser al menos de 20 dB por debajo del umbral de ruido de la señal recibida. Debe verificarse la linealidad del analizador de espectro en la gama de la medición para los parámetros específicos utilizados en las mediciones de la $(C + N)/N$. Dicho de otra manera, la precisión del analizador de espectro en más de unos 10 dB podría degradarse si los amplificadores de éste están en el extremo de su gama de funcionamiento. También es importante asegurarse de que se tienen en cuenta los factores adecuados de corrección para el analizador de espectro al medir señales de tipo ruido.

En la Recomendación UIT-R S.1554 se examinan con más detalle la calibración necesaria y las incertidumbres de este procedimiento de medición.

3.8 Conclusiones relativas a la aplicación de los Métodos descritos en el § 3

La verificación de los rebasamientos de un límite operacional por la medición en cada estación terrena en servicio, sin interrumpir el tráfico, es factible dentro de ciertas tolerancias. Dichas mediciones pueden efectuarse utilizando equipo de prueba convencional y resulta más práctico hacerlo automáticamente.

Si las mediciones del Método 1 de la $df_{pe\downarrow}$ con un Método tal como el 2A o el 2B descritos en el § 3 se efectúan minuciosamente, es probable que el error neto medio de la suma cuadrático (RSS, *root sum squared*) de los resultados sea del orden de $\pm 1,0$ dB (véase la Recomendación UIT-R S.1554).

Puede identificarse rápidamente una constelación no OSG que dé lugar a crestas de interferencia en una estación terrena de una red OSG utilizando datos de efemérides para predecir los tiempos de pasos en línea y un receptor adecuado para detectar la portadora de teledifusión u otra señal continua transmitida por cada satélite no OSG de la constelación. No obstante, si se registra el instante exacto de la cresta de interferencia (véase la parte superior de la Fig. 6) puede utilizarse la propia medición automatizada de la $df_{pe\downarrow}$ para estos fines, con lo que se evita la necesidad de una antena o un receptor separados.

Se indican a continuación las dificultades que han surgido durante el ejercicio:

- Si se utiliza un analizador de espectro como dispositivo de medición y una configuración de prueba automatizada, sus parámetros pueden ser críticos para las crestas más breves de la $df_{pe\downarrow}$ que se producen con antenas de estación terrena muy grandes. En el caso de mediciones manuales, la obtención de las lecturas de un analizador de espectro implica un error humano. Puede utilizarse en su lugar un dispositivo especial basado en el DSP con el que potencialmente pueden dejarse de lado estas dificultades, pero con un costo mayor. El DSP permite el almacenamiento de los datos si se requiere un análisis ulterior.
- Cabe mejorar la precisión de la medición de las crestas de la $df_{pe\downarrow}$, si el nivel recibido de la estación terrena afectada puede calibrarse mediante una estación CSM situada en el mismo haz del satélite. No obstante, las estaciones terrenas de algunas redes pueden no tener acceso a una estación CSM. En dichos casos, la estación terrena puede basarse en la autocalibración o utilizar un terminal transportable de parábola pequeña bien calibrada y de diseño especial, probablemente con menos precisión y/o un mayor costo.
- Se observó una diferencia sistemática del orden de 0,6 dB entre los niveles de la $df_{pe\downarrow}$ obtenidos a partir de la medición CSM de la p.i.r.e. de enlace descendente de la señal interferente, y las mediciones de la misma señal a través del sistema de recepción de Goonhilly, cuyo nivel de recepción se acababa de calibrar mediante la estación CSM. Se cree que esta diferencia se eliminará con un trabajo adicional.

Aunque este ejercicio se efectuó en la banda de 11 GHz y con crestas de interferencia típicas de una constelación de órbita terrestre baja a 1470 km de altitud, no hay motivo para dudar de que los métodos de medición descritos sean factibles en el caso de sistemas en 18 GHz o 20 GHz, y/o con crestas de interferencia típicas de sistemas de órbita terrestre media. No obstante, para constelaciones no OSG en altitudes del orden de 700 km en cualquier banda, la duración de cada cresta de interferencia sería más reducida y ello puede crear dificultades para las mediciones en las que intervienen antenas de estación terrena más grande.

4 Método 3: Técnicas de correlación

El procedimiento de medición propuesto en este punto ofrece una medida del nivel de potencia de una señal de satélite no OSG en una portadora OSG operativa, en los casos en que la señal no OSG está muy por debajo de la portadora operativa OSG (hasta 20 dB en el ejemplo estudiado).

4.1 Principio del método

Este procedimiento puede aplicarse a sistemas no OSG que utilizan el AMDC el cual puede tener una señal de referencia accesible en estas condiciones.

La explicación que sigue se aplica al caso de un sistema AMDC. La adaptación exacta de estas técnicas al acceso múltiple por división en tiempo (AMDT), AMDF y las combinaciones de modos de acceso requiere estudios adicionales.

El principio del método es establecer la correlación entre una parte de la señal de llegada a la estación terrena operacional del sistema OSG en el instante de una pérdida de sincronismo, y una señal conocida. Esta técnica tiene la ventaja de permitir detectar la interferencia no OSG, incluso en presencia de la señal OSG y del ruido. La capacidad de esta técnica para detectar niveles muy reducidos de interferencia se debe a la ganancia de procesamiento obtenida mediante la correlación. El nivel de la ganancia de procesamiento es función del tiempo de integración y de la técnica de correlación utilizada.

Hay que señalar que en este método se supone que la estación terrena OSG es interferida por un lóbulo lateral de un solo haz de un satélite no OSG. Se requieren nuevos estudios para determinar la viabilidad de dichos métodos en el caso de lóbulos laterales de diversos haces que causen interferencia en una estación terrena de sistema OSG.

4.1.1 Técnicas de autocorrelación cíclica

La medición del nivel de potencia de la portadora no OSG en esta técnica se logra mediante la autocorrelación de la señal registrada de manera cíclica.

El cálculo de la autocorrelación cíclica de una señal $s(t)$ se basa en la transformada rápida de Fourier (TRF) de la autocorrelación $\Gamma_s(t, \tau)$ de la señal $s(t)$ en el plano definido por una variable temporal y una variable de frecuencia. La frecuencia de segmentos, R_c , de la señal no OSG se utiliza como discriminante para establecer la correlación de la señal no OSG con ella misma y lograr un aumento suficiente de la ganancia.

La eficacia y la precisión de este método dependen del tiempo de integración que puede obtenerse para la señal no OSG.

La ventaja de este método es que da una medición directa del nivel de la portadora no OSG que interfiere en la portadora operativa OSG. Es por tanto plenamente representativo del tráfico en un solo haz de una portadora de satélite no OSG en el instante de la pérdida de sincronismo.

Un estudio de un escenario de interferencia específico ha demostrado que la interferencia puede medirse para una $C_{OSG}/I_{no\ OSG}$ de hasta 10 dB.

La precisión asociada a esta técnica requiere estudios adicionales.

4.1.2 Técnicas de autocorrelación

Las técnicas de autocorrelación relacionan la señal registrada con una versión retrasada de ella misma. Este método no ofrece directamente la medición del nivel de potencia de la portadora no OSG, sino la medición de una señal de referencia.

La estimación del nivel de la portadora no OSG debe hacerse utilizando una relación entre los niveles de potencia de la señal de referencia no OSG y de la señal portadora no OSG. En el § 4.1.4 se analiza la precisión de la relación entre el nivel de referencia y el nivel de la portadora no OSG de esta estimación.

La eficacia de la técnica de autocorrelación en términos de la relación $C_{OSG}/I_{no\ OSG}$ y su precisión correspondiente requieren estudios adicionales.

4.1.3 Técnicas de transcorrelación

Las técnicas de transcorrelación relacionan la señal registrada con una señal de referencia que no necesita ser específica. En cuanto a las técnicas de autocorrelación, las técnicas de transcorrelación no dan directamente la medición del nivel de potencia de la portadora no OSG, sino la medición de una señal de referencia. La estimación del nivel de la portadora no OSG debe realizarse utilizando una fórmula que dé la relación entre los niveles de potencia de la señal de referencia no OSG y de la señal portadora no OSG. En el § 4.1.4 se examina la relación entre el nivel de referencia y el nivel de la portadora no OSG.

Utilizando simulaciones de un sistema representativo no OSG AMDC que interfiera en una estación terrena operacional de sistema OSG con una relación $C_{OSG}/I_{no\ OSG}$ de 20 dB y una ganancia requerida de 60 dB en la señal de referencia se ha demostrado que puede lograrse una precisión en el mejor de los casos de 1 dB en la medición de la señal de referencia no OSG (sin tener en cuenta la precisión de la calibración de la cadena de recepción OSG).

4.1.4 Relación entre los niveles de potencia de la señal de referencia no OSG y de la señal portadora no OSG

La relación entre los niveles de potencia de la señal de referencia no OSG y de la señal portadora no OSG puede lograrse de dos maneras:

- a) Observando la relación media entre la señal de referencia no OSG y los niveles de portadora, empleando una antena de prueba separada que apunte al haz principal de la estación espacial no OSG. El problema con este método es que ofrece información sobre la relación entre el nivel de la señal de referencia no OSG y el nivel de la portadora no OSG que es representativo del tráfico de un satélite no OSG particular en un instante determinado, en un haz dado, pero que puede no ser representativo del tráfico que cursa el satélite no OSG causante de la interferencia en el haz de la estación terrena de sistema OSG en el instante de la pérdida de sincronismo.
- b) Dando la relación máxima entre la señal de referencia no OSG y los niveles de portadora que da el operador del sistema no OSG. El problema de este enfoque es que puede sobreestimar la señal portadora no OSG. Además, puede ser difícil para el sistema no OSG dar un valor fijo del nivel de la dfp de la señal de referencia no OSG respecto a la carga de tráfico, pues puede haber incertidumbre en cuanto a la influencia del nivel de tráfico en el nivel de la señal de referencia.

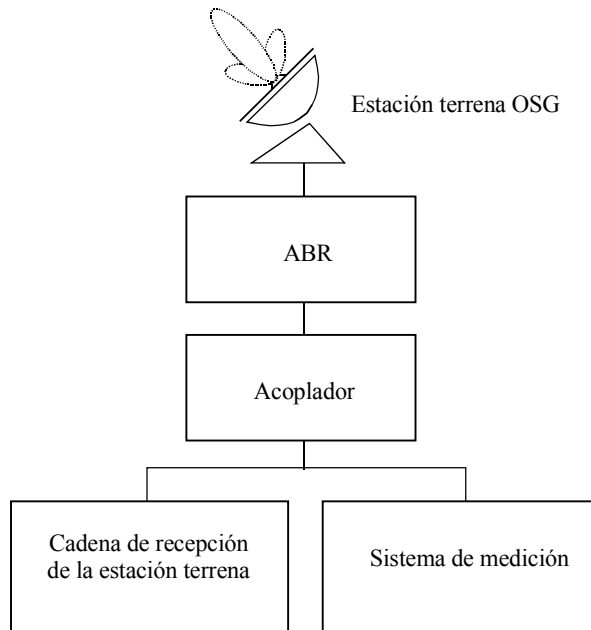
Se necesitan estudios adicionales para determinar la predicción de cada enfoque, pero el b) parece preferible.

4.2 Descripción de la configuración de prueba

La configuración de prueba asociada a este método es común a los distintos enfoques de correlación propuestos.

El sistema de medición debe situarse en los locales de la estación terrena del sistema OSG, de forma que la antena y el ABR sean comunes a la cadena de recepción de la estación terrena OSG y al sistema de medición.

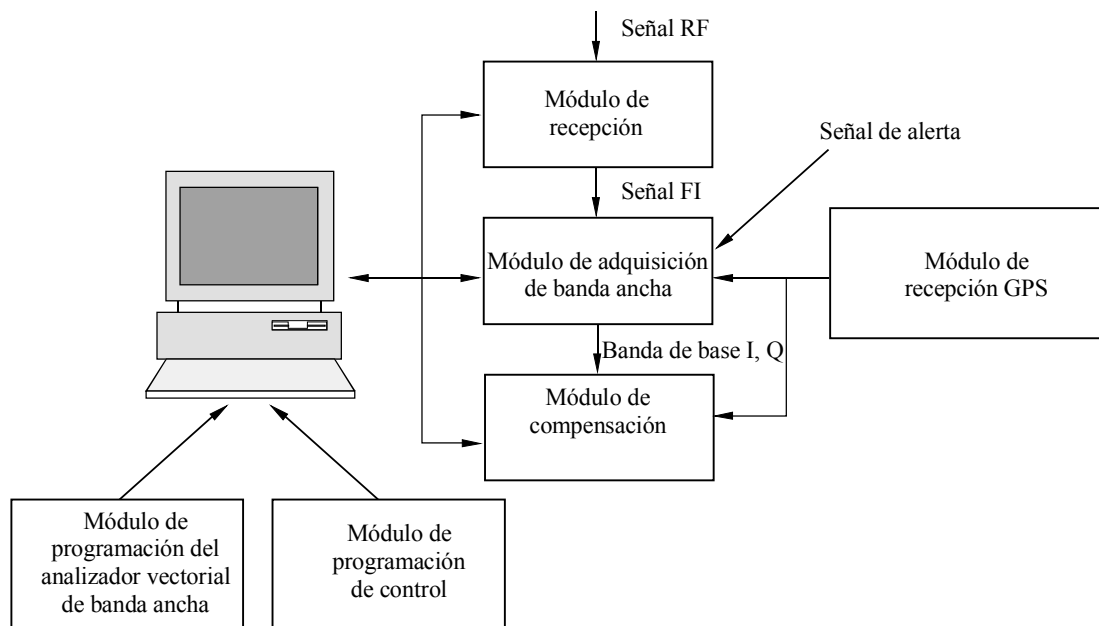
FIGURA 8
Emplazamiento del sistema de medición en la cadena de recepción OSG



1558-08

En la Fig. 9 se indica el diagrama de bloques de la configuración de prueba asociada a este método:

FIGURA 9
Configuración de prueba para la medición del nivel de potencia no OSG
Sistema de medición no OSG



GPS: Sistema mundial de determinación de posición

1558-09

El sistema de medición comprende:

- Un módulo de recepción que traslada la parte necesaria de la anchura de banda de la señal RF de entrada a una señal FI normalizada.
- Un módulo de adquisición de banda ancha que digitaliza, traslada a la banda de base la señal FI y muestrea y almacena la señal de banda de base.
- Un módulo de receptor GPS que da el instante preciso de la grabación de la señal no OSG.
- Un módulo de compensación que efectúa la compensación de frecuencia Doppler y temporización en la señal de banda ancha.
- Una unidad de cálculo para el funcionamiento del sistema de medición que se basa en dos módulos de programación:
 - un analizador vectorial de programación de banda ancha que permite la detección y medición de la señal interferente no OSG con la señal OSG;
 - un programa de control que permite el control a distancia de la cadena mediante un enlace de datos (RS232, IEEE488, Ethernet).

4.3 Cálculo del nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ no OSG

El procedimiento de medición que se propone en el § 4.1 da el nivel de potencia de la señal no OSG a la salida del acoplador de la cadena de recepción OSG (véase la Fig. 8). A fin de que el operador del sistema OSG pueda verificar el cumplimiento del nivel de la potencia de la portadora no OSG con los límites operacionales que figuran en los Cuadros 22-4A y 22-4B del RR, es necesario trasladar el nivel de potencia de la señal no OSG a un nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ que sea realmente recibido en la estación terrena del sistema OSG.

A continuación se indican los cálculos necesarios para expresar el nivel de potencia de la señal no OSG medido en el § 4.1, en forma de nivel de la $dfpe_{\downarrow}$ no OSG recibido a la entrada de la estación terrena operacional del sistema OSG.

La potencia de la señal no OSG recibida en la apertura de la antena, $p_{entr.}$ (W), viene dada por la fórmula siguiente:

$$p_{entr.} = \left[\frac{p_e}{4\pi d^2} \right] \cdot \left[g_{ant} \frac{\lambda^2}{4\pi} \right] = \Phi \cdot s_{ef} \quad \text{W}$$

donde:

- p_e : potencia emitida (W)
- λ : longitud de onda (m)
- d : distancia entre el satélite y la estación terrena (m)
- Φ : dfp a la entrada de la antena (W)
- g_{ant} : ganancia de la antena del receptor (dBi)
- s_{ef} : superficie equivalente de la apertura de la antena (m^2).

La potencia de la señal no OSG recibida en la salida del acoplador viene dada por la siguiente ecuación:

$$P_{salida} = P_{entr.} + G_{ABR} - L \quad \text{dBW}$$

donde:

- G_{ABR} : ganancia ABR (dB)
- L : pérdidas entre la salida ABR y el punto de comprobación del sistema de medición.

La técnica de correlación descrita en § 4.1 da el nivel de la potencia de la señal no OSG en 40 kHz. Conociendo la señal recibida de salida tras la antena y la ganancia ABR y las pérdidas en el sistema de medición, la $dfpe_{\downarrow}$ generada por el sistema no OSG en la estación terrena OSG viene dada por la expresión siguiente:

NOTA 1 – Cuando la interferencia $dfpe_{\downarrow}(\Phi)$ se recibe en el eje, es de hecho la $dfp(\Phi)$:

$$10 \log_{10} \Phi = 10 \log_{10} P_{no\ OSG-40\ kHz} - 10 \log_{10} (s_{ef}) - G_{LNA} + L + 10 \log_{10} (B/40) \quad \text{dB(W)/(m}^2 \cdot 40\ \text{kHz)}$$

en donde B es la anchura de banda de la portadora no OSG (kHz).

En esta última ecuación, el término $-10 \log_{10} (s_{ef}) - G_{ABR} + L$ tiene que determinarse mediante el proceso de calibración que se describe en el punto siguiente.

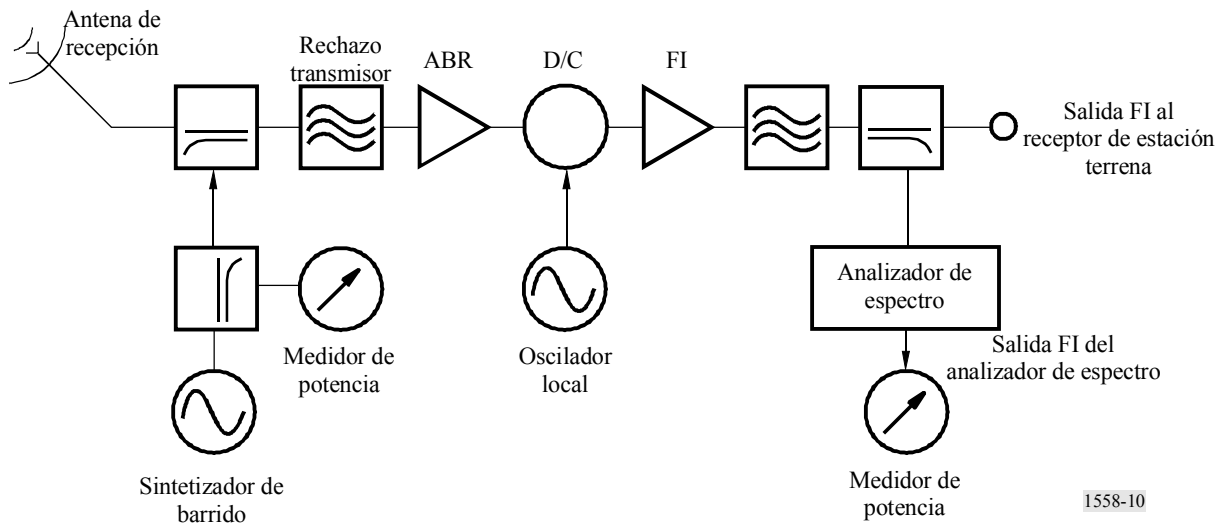
4.4 Calibración de la estación terrena receptora

4.4.1 Introducción

El objeto de la calibración de la estación terrena receptora es obtener un factor de conversión que permita la traducción de las mediciones de potencia tomadas en un punto de RF o de FI de la cadena de recepción, en un valor de la $dfpe$ en la apertura de la antena receptora. El nivel máximo de potencia de una señal asociada a un sistema interferente no OSG se mide a la salida del convertidor reductor del terminal terreno, tal como se representa en la Fig. 10. La medición del nivel de potencia se efectúa en términos absolutos o relativos a un nivel de referencia conocido. En cualquiera de los casos, la ganancia a lo largo del trayecto de la señal entre la apertura de la antena receptora y la salida del convertidor reductor, en función de la frecuencia debe sustraerse del valor medido para llegar a una densidad de flujo. A continuación se resumen diversos métodos que pueden utilizarse para calibrar la antena y la cadena de recepción.

FIGURA 10

Calibración del terminal terreno receptor con portadora inyectada



1558-10

4.4.2 Métodos de calibración

4.4.2.1 Método de calibración de portadora inyectada

Para lograr la precisión máxima posible de la medida de la $dfpe_{\downarrow}$ se requiere un terminal terreno de recepción plenamente calibrado. La expresión plenamente calibrado significa que la ganancia de la antena receptora en el extremo de salida de la guíaonda, así como la ganancia de conversión del

ABR o la de la cadena del convertidor reductor (LNB, *low noise block*) son conocidas en toda la anchura de banda de funcionamiento de la estación terrena. El factor de conversión se determina acumulando todas las características de transferencia de ganancia.

Si no se dispone de dichos datos de calibración para la cadena LNB, se requiere entonces una configuración de prueba tal como la indicada en la Fig. 10 para calibrar dicha cadena LNB. En este diagrama de bloques se supone que se dispone de un medio para inyectar una portadora de onda continua en el trayecto de la señal de la cadena de recepción y observar el nivel de la portadora inyectada a la salida. Como se requiere un acoplador entre la antena y el ABR, es probable que este esquema se utilice únicamente para una estación terrena autónoma especializada, en un terminal de prueba en órbita o en una estación terrena que esté fuera del proceso para reconfiguración.

Inyectando una portadora de onda continua con frecuencia de barrido antes de la cadena ABR, el trayecto a través de dicha cadena puede caracterizarse completamente en términos de pares frecuencia-amplitud. Si el terminal terreno funciona durante la calibración, puede seleccionarse una lista de frecuencias discretas para la calibración, a fin de no interferir con las operaciones de la estación terrena. Estos resultados pueden entonces almacenarse en un cuadro de calibración que se utilizará para el procesamiento posterior de datos. Al calibrar la cadena LNB, debe verificarse el funcionamiento lineal del ABR antes de la medición de calibración. Las pérdidas de inserción y los factores de acoplamiento de los acopladores direccionales de la Fig. 10 deben caracterizarse antes de la calibración.

La única fuente más importante de incertidumbre en los métodos de medición examinados se asocia a la antena del terminal terreno receptor. Existen diferentes métodos para medir la ganancia y el G/T_s de la antena y cada uno tiene un nivel correspondiente de incertidumbre.

Puede calibrarse la ganancia de la antena del terminal terreno utilizando uno o diversos medios distintos, dependiendo del tiempo y los recursos disponibles, así como de la precisión deseada. En frecuencias de la banda de 14/11 GHz, se emplea el método de la radioestrella para diámetros de apertura de al menos 11 m. Para antenas inferiores a 11 m de diámetro, puede calcularse la ganancia utilizando el método de integración del diagrama o el método de aproximación de la apertura del haz. Para antenas mucho más pequeñas, la ganancia puede determinarse de forma más precisa utilizando el método de la bocina de ganancia normalizada.

4.4.2.2 Método de la bocina de ganancia normalizada

El método de la bocina de ganancia normalizada (SGH, *standard gain horn*) suele utilizarse para aperturas pequeñas y en él se compara simplemente la antena en pruebas (AUT, *antenna under test*) con otra antena de ganancia conocida. Este método es uno de los más precisos entre los examinados y tiene un error cuadrático medio total de $\pm 0,44$ dB, aproximadamente. No obstante, este método no suele ser práctico para aperturas grandes, tales como las de las antenas de estación terrena, debido a la gran diferencia de ganancia entre la AUT y la SGH.

4.4.2.3 Método de integración del diagrama

La directividad de la antena puede determinarse integrando y promediando varios cortes del diagrama de radiación de ángulo ancho en una frecuencia determinada. Las pérdidas previstas debidas a factores tales como la tolerancia cuadrática media de la superficie, la pureza de la polarización, las pérdidas óhmicas, la truncación del diagrama y el desbordamiento se restan del valor de la directividad para llegar a una ganancia de antena en el extremo de salida de la guíaonda. Los datos del diagrama de radiación deben obtenerse en diversas frecuencias diferentes para calcular la ganancia de la antena en toda la banda.

4.4.2.4 Método de aproximación de la apertura del haz

El método de aproximación de la apertura del haz se utiliza típicamente en antenas de reflector con un rendimiento conocido en la gama de 65% a 70%. La metodología exige la medición de la apertura del haz del diagrama de radiación de la antena y aplica una fórmula para calcular la ganancia, incluyendo siempre un término de error de aproximación de 0,40 dB. El error cuadrático medio total es de $\pm 0,55$ dB, aproximadamente. También exige una medición por separado de las pérdidas del alimentador.

4.4.2.5 Método de la radioestrella

Debido a los avances recientes en la calibración de las densidades de flujo emitidas por radioestrellas, la técnica más precisa de calibración de la ganancia de una antena es el método de la radioestrella, siempre que la antena tenga una apertura suficientemente amplia y la frecuencia de prueba sea suficientemente elevada. El método de la radioestrella se compone en realidad de pares de mediciones: una para medir la ganancia y la otra para medir la temperatura de ruido del sistema, T_s , en un ángulo de elevación determinado. La incertidumbre cuadrática media total asociada a la medición de la ganancia es de $\pm 0,23$ dB.

4.4.2.6 Método de la estación terrena de referencia calibrada

Los procedimientos de calibración anteriores exigen una prueba con la estación terrena fuera de servicio, lo que no siempre es factible cuando la estación terrena cursa un gran volumen de tráfico fundamental. Otro medio de calibrar la estación terrena receptora es medir la potencia/dfp de una portadora de prueba en una estación terrena de referencia calibrada y conociendo la diferencia de ganancias de la antena de transmisión de satélite hacia la antena de referencia calibrada y hacia la estación terrena receptora en pruebas, puede calcularse la ganancia de la antena y de la cadena de recepción.

INTELSAT utiliza diversas estaciones terrenas calibradas para CSM o las pruebas en órbita (IOT, *in-orbit testing*). Estas estaciones terrenas dan mediciones muy precisas de la portadora de enlace descendente o de las señales de prueba procedentes del satélite. En el caso de estaciones terrenas CSM se comprueba minuciosamente el nivel de cada una de las portadoras de tráfico en un transpondedor para verificar que éste funciona con las reducciones de potencia de entrada y de salida adecuadas. En el caso de estaciones terrenas IOT, se miden de forma precisa los niveles recibidos del satélite para la verificación en órbita de éste durante las pruebas de aceptación.

4.4.3 Incertidumbre de la calibración del terminal terreno receptor

Toda medición tiene un nivel de incertidumbre asociado. La precisión de los métodos de medición examinados depende de:

- La frecuencia de funcionamiento. Cabe esperar que los errores de la medición aumenten con la frecuencia.
- La disponibilidad de una fuente radioeléctrica calibrada de forma precisa (es decir, una radioestrella) en el emplazamiento de pruebas y de una antena suficientemente grande para seguir el método de la radioestrella. Por ejemplo, en la banda de 11 GHz, se requiere un tamaño de apertura de al menos 11 m para efectuar la medición de la ganancia y de la relación G/T_s utilizando el método de la radioestrella.
- La calibración de las redes de alimentación acopladores y/o líneas de transmisión insertados.
- El apuntamiento y la alineación de la antena.
- Las desadaptaciones en la configuración de pruebas, incluyendo los cambios en la relación de onda estacionaria causados por el equipo de prueba.
- Las condiciones atmosféricas de cielo despejado y en calma.

El Cuadro 3 enumera las incertidumbres típicas asociadas a las diversas técnicas de medición de la ganancia de antena, la incertidumbre asociada al instrumento de medida de la potencia que se requeriría en el procedimiento de calibración de la cadena de recepción descrita anteriormente y la incertidumbre asociada a la realización de la medición descrita de la *C/N*.

CUADRO 3

Incertidumbres en la medición de los componentes

<i>Ganancia de antena</i>	(dB)
Método de la radioestrella	$\pm 0,23$
Bocina de ganancia normalizada	$\pm 0,44$
Método de la integración del diagrama	$\pm 0,55$
Método aproximado de la apertura del haz	$\pm 0,55$
<i>Medidores de potencia</i>	
Incertidumbres en el medidor de potencia	$\pm 0,20$
Incertidumbres DSS	$\pm 0,25$

El Cuadro 4 resume los valores típicos de la incertidumbres de la medición total en el caso más desfavorable y del valor cuadrático medio para el procedimiento de calibración con inyección de portadora que requiere uno de los componentes de la calibración de la ganancia de antena y el doble de los componentes de la incertidumbre del medidor de potencia (pues se utilizan dos medidores de potencia para efectuar una medición de la potencia relativa, y no absoluta).

CUADRO 4

Incertidumbres de la medición total

	Incertidumbre total del caso más desfavorable (dB)	Valor cuadrático medio de la incertidumbre total (dB)
Radioestrella	$\pm 0,88$	$\pm 0,43$
Bocina de ganancia normalizada	$\pm 1,09$	$\pm 0,57$
Integración del diagrama	$\pm 1,20$	$\pm 0,65$
Anchura de haz aproximada	$\pm 1,20$	$\pm 0,65$

Un método alternativo consiste en utilizar el valor de la G/T de la estación terrena del que puede disponerse a partir de las pruebas de verificación de la estación terrena normalizada. Utilizando los valores medidos de $(C + N)/N$ ou $(I + N)/N$ para obtener las relaciones C/N o I/N , y la ecuación de conversión indicada a continuación, puede determinarse la dfp a la entrada de la antena.

$$dfp = 10 \log \left(kb \frac{c}{n} \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) \frac{t_s}{g_r} \right) \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$$

siendo:

k : constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ W/Hz/K)

b : anchura de banda de referencia (40 kHz)

$\frac{c}{n}$: relación C/N , expresada como relación numérica

λ : longitud de onda (m)

t_s : temperatura de ruido de las estaciones terrenas receptoras (K)

g_r : ganancia de recepción en el eje de la antena de las estaciones terrenas (dBi).

Se supone que T_s puede calcularse o es igual a la T de la estación terrena receptora. Si se obtiene la relación G/T de la estación terrena utilizando un método de radioestrella, la medición de la dfp tendría una incertidumbre cuadrática media típica de $\pm 0,41$ dB.

En el caso del método de la estación terrena de referencia calibrada, la medición de la dfp típica en una estación terrena CSM o una IOT tiene una incertidumbre de aproximadamente $\pm 0,43$ dB. Teniendo en cuenta las incertidumbres del diagrama de la antena del vehículo espacial, los errores de puntería y de las mediciones DSP, la incertidumbre cuadrática media total sería aproximadamente de $\pm 0,56$ dB (véase el § 3.6.3, b)).

Las incertidumbres de la medición mencionadas no pueden evitarse, pues la precisión de las mediciones reales en RF o FI en una estación terrena operacional están limitadas por los instrumentos de calibración de que dispone el operador. Resolver dichas incertidumbres de la medición puede ser un proceso arduo y relativamente oneroso para los sistemas operativos del SFS OSG. El desarrollo de procedimientos reglamentarios que se basen en dichas mediciones operacionales deben tener en cuenta este margen de error.