

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1554

**Metodología para determinar la precisión global
de las mediciones de $dfpe_{\downarrow}$**

(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 para una sola fuente de interferencia de la densidad de flujo de potencia equivalente de enlace descendente ($dfpe_{\downarrow}$) de validación, operacionales y, para algunos tamaños de antena, operacionales adicionales, incluidos en el Artículo 22 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), junto con 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), que protegen las redes OSG en partes de la gama de frecuencias 10,7-30 GHz;
- b) que el cumplimiento, por parte de cualquier sistema del SFS no OSG, de los límites operacionales de $dfpe_{\downarrow}$ para una sola fuente de interferencia no está sujeto a la verificación por parte de la Oficina de Radiocomunicaciones;
- c) que las administraciones con asignaciones a redes del SFS OSG y/o el servicio de radiodifusión por satélite (SRS) puestas en funcionamiento, así como las administraciones con asignaciones a sistemas del SFS no OSG puestas en servicio, necesitan medios fiables para asegurarse de que los sistemas del SFS no OSG observan los límites operacionales para una sola fuente de interferencia mencionados en el *considerando a*);
- d) que puede ser necesario medir los niveles de $dfpe_{\downarrow}$ en estaciones terrenas OSG en explotación para poder determinar si se han rebasado los límites operacionales,

observando que

- a) se está elaborando la Recomendación UIT-R S.1558 que proporciona un método de medición de los niveles de $dfpe_{\downarrow}$,

recomienda

- 1** que se utilice la metodología descrita en el Anexo 1 para determinar la precisión del procedimiento de medición.

ANEXO 1

Metodología para determinar la precisión global de las mediciones de df_{pe} **1 Introducción**

La CMR-2000 adoptó límites operacionales de df_{pe} para proteger tanto a los enlaces del SFS OSG de la pérdida de sincronización o del comportamiento degradado causados por los sistemas no OSG como a los sistemas del SFS OSG que utilizan codificación adaptable en las bandas 30/20 GHz.

Los satélites no OSG, debido a la geometría de sus órbitas respecto a las antenas terrestres OSG, pueden rebasar los límites operacionales solamente durante breves intervalos de tiempo (s). Se pueden medir los límites operacionales en los emplazamientos de estaciones terrenas que sufren, súbitamente, fenómenos de pérdida de sincronización o de rendimiento degradado (sin tener en cuenta, evidentemente, los fenómenos provocados por un desvanecimiento muy intenso debido a la lluvia, las interrupciones causadas por el sol o los sucesos debidos a averías en los equipos o asociados a la conmutación).

El operador del satélite OSG determinará si la pérdida de sincronización o de rendimiento degradado ha sido debida a una interferencia en línea provocada por un sistema del SFS no OSG a la red OSG. Cuando se perciba que existe una correlación entre la pérdida de sincronización o el rendimiento degradado y un suceso en línea en un sistema no OSG, se utilizará un sistema de medición en la estación terrena de recepción OSG que experimente las pérdidas de sincronización para medir el nivel de la interferencia no OSG sufrida por la estación terrena OSG.

Es necesaria una estación terrena de (comprobación del sistema de portadora (CSM, *carrier system monitoring*), bien calibrada, situada en el mismo haz que la estación terrena afectada para llevar a cabo el procedimiento de medición escogido. La estación CSM proporciona un nivel de referencia calibrado a la estación terrena afectada. De esta manera se consigue llevar a cabo una calibración centralizada. Además, es deseable poner en funcionamiento un sistema automático de medición en la estación terrena afectada que reduzca la probabilidad de errores humanos que puedan afectar a los resultados.

En el presente Anexo se calcula la precisión global de las mediciones operacionales de la interferencia no OSG utilizando el procedimiento de medición escogido.

Lista de acrónimos

ABR: Amplificador de bajo nivel de ruido

B : Anchura de banda

CSM: Comprobación del sistema de portadora

S/N : Relación señal/ruido

T : Tiempo (s).

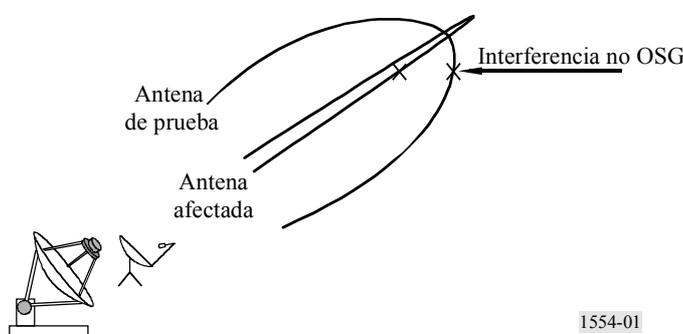
2 Procedimiento de medición que utiliza un procesador de señal digital, un analizador de espectro o un medidor de potencia

La calibración del sistema es el aspecto crítico a la hora de medir con precisión la interferencia no OSG. Se puede integrar el equipo de calibración en la estación terrena afectada por la interferencia no OSG, se puede efectuar la calibración a distancia desde una estación CSM, o se puede desplazar hasta el emplazamiento de la estación terrena afectada un sistema portátil bien calibrado. Además, se puede poner en marcha el sistema portátil utilizando una antena de barrido. Cada diseño del sistema tiene sus ventajas e inconvenientes.

Para determinar el nivel de $dfpe_{\downarrow}$ con precisión, la solución más directa consistiría en integrar el equipo de medición y calibración en la estación terrena que recibe la interferencia. Sin embargo, esta solución haría necesaria la interrupción del servicio OSG mientras se integra y calibra el sistema. Esta interrupción puede durar varias horas. Además, sería necesario interrumpirlo de nuevo si se necesita el equipo de medición en otra estación terrena.

La solución más eficaz desde el punto de vista económico sería la de emplear un equipo de pruebas portátil y autónomo. De esta forma no se interrumpiría el funcionamiento del sistema OSG y las mediciones de calibración podrían efectuarse en todo momento. El dispositivo de pruebas portátil requeriría una antena de menor tamaño que la de la estación terrena afectada por la interferencia. En este caso, la antena de prueba con anchura de haz más amplia recibiría niveles de $dfpe$ mayores procedentes del sistema no OSG comparados con los de la antena afectada, para ángulos fuera del eje pequeños, tal como se muestra en el Fig. 1.

FIGURA 1
Mediciones con una antena de prueba pequeña y una antena de estación terrena grande



1554-01

Existen dos soluciones al problema presentado en la Fig. 1. Cuando se conoce la dirección de la interferencia no OSG, la diferencia de ganancia entre la antena de prueba y la antena de la estación terrena afectada puede tenerse en cuenta, siempre y cuando se conozcan con precisión los diagramas de radiación de antena respectivos. La antena de prueba podría, alternativamente, seguir la traza del satélite no OSG. Además, si se utiliza una antena de seguimiento lo suficientemente grande ésta proporcionará una discriminación entre la señal OSG y la interferencia no OSG que se está midiendo, hasta que la citada interferencia no OSG se encuentre en el lóbulo principal de la antena OSG.

La utilización de una antena de prueba más pequeña dará lugar a una reducción de la relación S/N , respecto a una antena más grande que recibe una señal de la misma intensidad. Para un mismo nivel de precisión, el tiempo de medición necesario es inversamente proporcional a la S/N recibida. En el Cuadro 1 se presentan las anchuras de haz a potencia mitad y los valores de S/N (suponiendo una

temperatura del receptor de 200 K), para varios tamaños de antena. Los valores de S/N corresponden a niveles de señal iguales a los valores del límite operacional para antenas de 3 m ($-161,25 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$) y 10 m ($-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$), respectivamente.

CUADRO 1

Características de medición para distintos tamaños de antenas de estación terrena

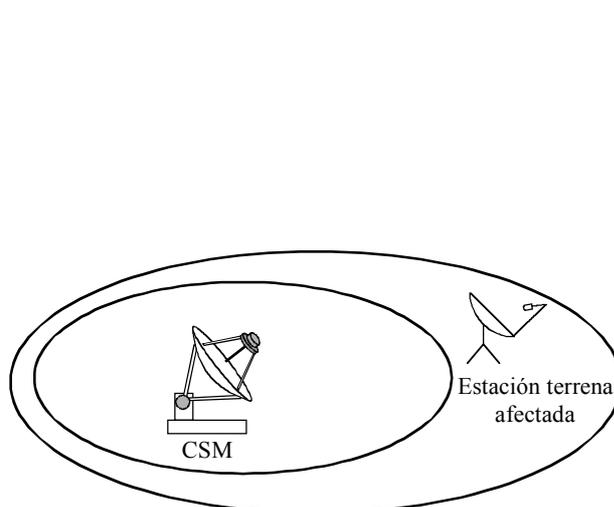
Diámetro de la antena (m)	Anchura de haz a potencia mitad (grados)	(Nivel de señal = $-161,25 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$) S/N (dB)	(Nivel de señal = $-166 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot 40 \text{ kHz))}$) S/N (dB)
2	1,75	1,4	-3,3
3	0,58	4,5	-0,2
10	0,175	15	10,3

Finalmente, si se dispone de una estación terrena CSM calibrada situada en la cobertura del mismo haz de la estación terrena afectada, puede efectuar la calibración de ésta. La estación CSM está calibrada con mucha precisión y, por lo tanto, puede utilizarse para determinar el nivel de señal recibida en la estación terrena afectada.

En la Fig. 2 aparecen la estación CSM y la estación terrena afectada. Obsérvese que la estación CSM recibe la misma señal del satélite que la estación terrena afectada pero con una ganancia de satélite diferente. Puesto que se conocen las ganancias relativas de la antena del satélite en la dirección de ambas estaciones terrenas (mediciones de pruebas en órbita), la estación CSM puede calibrar el nivel de señal recibido en la estación terrena afectada, que puede utilizar este nivel de referencia para determinar sus niveles de ruido e interferencia.

FIGURA 2

Configuración CSM que proporciona la calibración a una estación terrena afectada



El presente Anexo se centra en la precisión del método que utiliza una estación CSM para calibrar el nivel de señal recibida en la estación terrena afectada. El procedimiento de medición es el siguiente:

- La señal de radiobaliza del satélite puede ser medida tanto por la estación CSM como por la estación terrena afectada. La medición de la radiobaliza proporciona un nivel de señal estable y bien conocido que puede utilizarse para calibrar la estación CSM. Asimismo, proporciona una estimación del diferencial entre las pérdidas atmosféricas en la estación terrena afectada y las que se producen en la estación CSM.

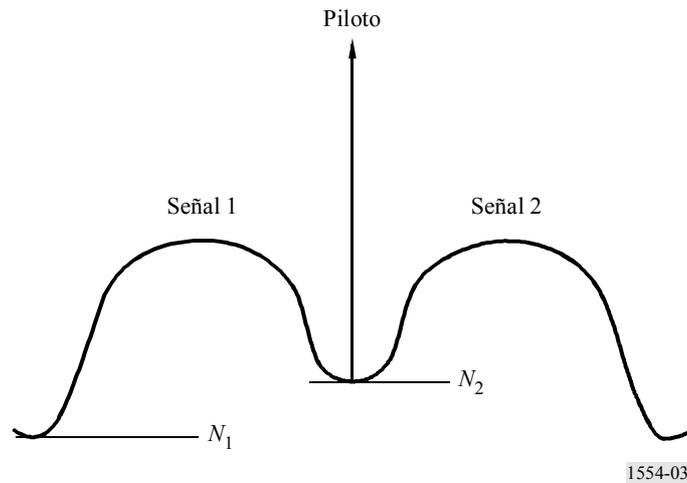
Si las variaciones en el nivel de la radiobaliza causadas por la estabilidad y los errores de medición son mayores que las variaciones debidas a los cambios atmosféricos, las mediciones de la radiobaliza pueden no ser útiles. En el resto del Anexo se supone que las mediciones de interferencia se realizan en condiciones de cielo despejado y que las mediciones de la radiobaliza no se consideran en la estimación de la precisión global.

Cabe señalar, sin embargo, que en el caso de un sistema de órbita terrestre baja (LEO), donde la interferencia más importante aparece cerca de un suceso en línea, puede suponerse que la degradación de la señal no OSG es similar a la del sistema OSG. Esto implica que el nivel de la relación portadora/interferencia en el enlace es aproximadamente el mismo tanto en condiciones de cielo despejado como durante la lluvia. Por consiguiente, el nivel de interferencia no OSG verdadero debe tener en cuenta el nivel de desvanecimiento.

- Se debe medir una señal de referencia en la estación CSM. Se han investigado dos fuentes para la señal de referencia:
 - La señal de referencia es la portadora de estación terrena afectada por la interferencia.
 - La señal de referencia es una señal piloto transmitida en la banda de guarda adyacente a la señal afectada.

En la Fig. 3 se presenta la señal afectada sometida a prueba. La banda de guarda muestra el piloto que puede ser utilizado como señal de referencia CSM.

FIGURA 3
Niveles de ruido en banda en función de los niveles de ruido fuera de banda



Obsérvese que, a causa de los flancos de filtro, el nivel de ruido en la banda de guarda puede diferir del ruido en la frecuencia de señal. Esto puede inducir a un error si la señal de la estación terrena afectada se utiliza como referencia CSM. Cuando la señal de la estación terrena afectada es la referencia, se emplea para determinar el nivel de ruido N_1 . Sin embargo, la interferencia se mide con relación al nivel de ruido N_2 . Por lo tanto, cuando se utilice la señal de la estación terrena afectada como referencia, la interferencia medida puede tener un error a causa de la diferencia entre los niveles de ruido N_1 y N_2 .

La señal piloto puede proporcionar una medición ligeramente más precisa cuando se utiliza la señal de la estación terrena afectada como referencia. El cálculo aproximado de la precisión efectuado en este Anexo no considera el error que existiría si se utiliza la señal de la estación terrena afectada como la referencia CSM.

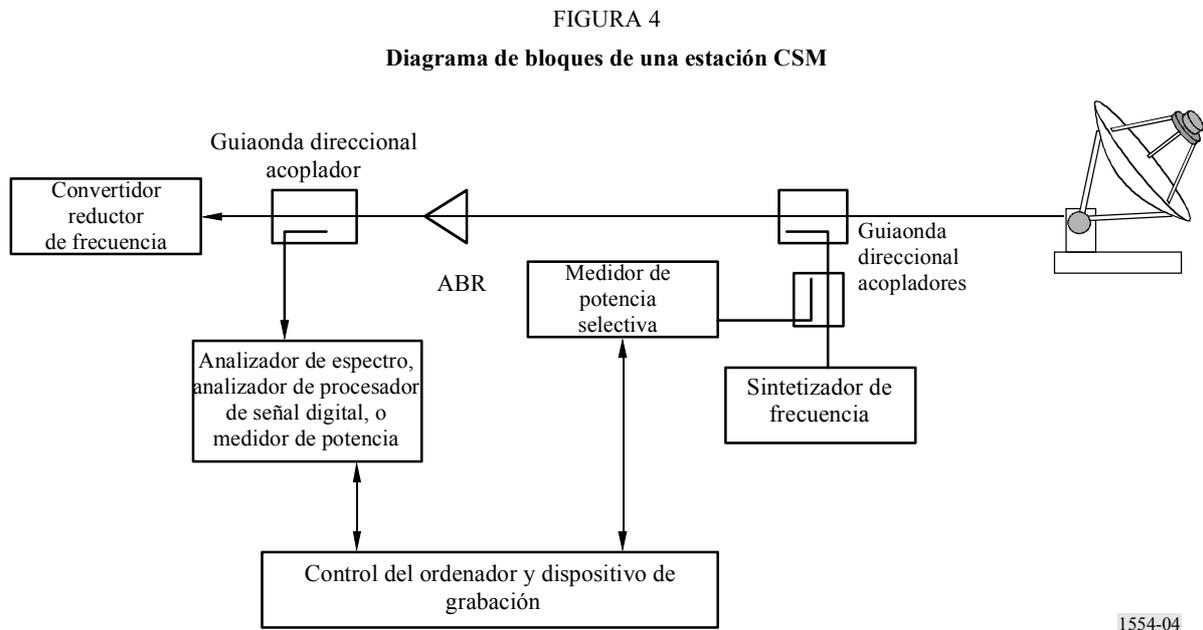
- Se debe medir en la estación terrena afectada la interferencia más ruido y el ruido. La medición de interferencia más ruido se efectúa en la banda de guarda próxima a la portadora afectada. Asimismo, puede medirse el nivel de ruido en la banda de guarda, pero sólo inmediatamente antes y después del suceso de interferencia.

En necesario efectuar todas las mediciones en un breve intervalo de tiempo, de tal manera que los valores no puedan variar. Además, la interferencia se presenta solamente durante un corto espacio de tiempo, lo que limita el tiempo de medición y la precisión.

Se puede utilizar un procedimiento automático para efectuar las mediciones. El montaje requeriría contar con instrumentos de medición (medidor de potencia, analizador de espectro, procesador de señal digital) en la estación terrena afectada. El equipo de medición se conectaría a un ordenador que se encargaría de almacenar el espectro sometido a prueba. Las mediciones de la interferencia más ruido y del ruido serían activadas por un impulso de interferencia en los datos almacenados. Al mismo tiempo, se puede enviar automáticamente una señal a la estación CSM para solicitar una medición de la portadora de referencia tan pronto como sea posible (son necesarios más estudios sobre el procedimiento que debe emplearse y sobre la posible contribución al presupuesto de error de cualquier retardo significativo).

3 Calibración del trayecto de radiofrecuencia de una estación CSM

El procedimiento de medición se basa en la precisión del sistema CSM. En la Fig. 4 se representa un diagrama de bloques de una estación CSM con el equipo de calibración integrado directamente en el trayecto de RF de la estación terrena.



El instrumento de medición está compuesto por un analizador de espectro, un analizador de procesador de señal digital o un medidor de potencia, conectado mediante un acoplador Guíaonda direccional situado después del ABR. El equipo de calibración está compuesto por un sintetizador de frecuencia y medidor de potencia para calibrar el equipo de medición.

El equipo se controla desde la interfaz de un ordenador que, a su vez, controla los parámetros de medición, el tiempo de calibración y el registro de la información resultante. El sintetizador de frecuencia proporciona una señal de calibración de referencia, necesaria para minimizar los efectos de la deriva del equipo y de las variaciones aleatorias de las mediciones.

Los errores humanos, al poner en funcionamiento el proceso de calibración, pueden ser una fuente importante de errores, dependiendo de la experiencia de los operadores de la estación terrena. Se debe efectuar una primera calibración del sistema de control automático antes de integrarlo al sistema. Estas calibraciones no cambian durante el funcionamiento. El segundo tipo de calibración es el automático y se lleva a cabo precisamente durante el funcionamiento. Para alcanzar la precisión deseada se necesitan los datos sobre ambos tipos de calibración.

Los instrumentos (por ejemplo, los medidores de potencia, los analizadores y los sintetizadores), la antena y diversos componentes (por ejemplo, los guíaondas, los acopladores, el filtro de medición y el ABR) se calibran independientemente. Estas calibraciones deben efectuarse periódicamente mediante un procedimiento de laboratorio normalizado. Se conservan ficheros de datos que incluyen calibraciones a lo largo de una gama de frecuencias, dependiendo de la forma en que se hayan efectuado las mediciones. El funcionamiento del sintetizador de frecuencias y del medidor de potencia se comprueba periódicamente para asegurar la precisión del equipo de calibración.

También se deben efectuar periódicamente dos mediciones de calibración de ganancia automáticas (G_C y G_n) de la cadena del enlace descendente de recepción desde la cabecera de la antena hasta el dispositivo de medición. Un sintetizador de frecuencia inyecta una señal a la entrada del LNA. Se verifica el nivel de señal mediante mediciones precisas efectuadas por el medidor de potencia. Se comprueba constantemente el nivel del sintetizador mediante una medición distinta del medidor de potencia.

Se miden las ganancias G_C y G_n en la frecuencia de la radiobaliza no OSG entre la alimentación de antena y el dispositivo de medición. La relación portadora/ruido inyectada debe ser mayor de 25 dB para poder despreciar la potencia de ruido.

La ecuación de la ganancia del receptor de la estación terrena viene dada por:

$$G_C = G_n = \frac{1}{L_C(CW)} \left(\frac{P_m}{P_I L_{Cal}} \right) \quad (1)$$

donde:

- P_m : potencia en el medidor de potencia
- P_I : potencia inyectada
- $L_C(CW)$: pérdidas del filtro de medición para la portadora de referencia
- L_{Cal} : error de calibración entre la portadora de referencia y el guiaondas de recepción en la alimentación de antena.

En el Cuadro 2 se desglosan las desviaciones típicas de error asociadas con la ecuación (1). Se supone que estas incertidumbres son variables aleatorias gaussianas. A partir de una evaluación estadística del tipo Monte Carlo de la ecuación (1) mediante ordenador, y utilizando las incertidumbres presentadas en el Cuadro 2, se obtiene una incertidumbre de ganancia de recepción de $\pm 0,34$ dB.

CUADRO 2

Errores de ganancia de recepción de la estación terrena

Variable	Error (dB)	Comentarios
P_I	$\pm 0,2$	Una sola medición de potencia mediante un medidor de potencia de precisión
P_m	$\pm 0,2$	Una sola medición de potencia mediante un medidor de potencia de precisión
L_C		La variación se supone despreciable
L_{Cal}	$\pm 0,2$	Medición de potencia y variaciones de temperatura
G_C, G_n	$\pm 0,34$	Evaluación de la ecuación (1) utilizando las anteriores incertidumbres

Si se efectúan las mediciones de ruido y señal a una frecuencia aproximadamente igual, sólo será necesaria una calibración.

4 Precisión de las mediciones de interferencia y de ruido en la estación terrena afectada

La precisión global de la medición depende de la precisión con que se ha realizado la medición de potencia. Esto incluye tanto la precisión interna del dispositivo de medición como las variaciones en las mediciones debidas al ruido. Por ejemplo, el analizador de espectro HP8566A posee una precisión interna de medición de amplitud de aproximadamente $\pm 0,3$ dB.

La precisión debida al ruido está relacionada directamente con la duración de la medición. El dispositivo de medición integra la potencia recibida durante T segundos. Si el ruido de entrada es un ruido blanco aditivo gaussiano la salida del integrador tendrá una distribución de chi cuadrado. El valor medio, m_n , y la varianza, σ^2 , para la medición del ruido únicamente y para la medición de la señal más el ruido son:

$$\text{Solamente ruido: } m_n = 2 M \text{ y } \sigma^2 = 4 M \quad (2)$$

$$\text{Señal más ruido: } m_n = M S/N + 2 M \text{ y } \sigma^2 = 4 M S/N + 4 M \quad (3)$$

donde:

$$M = B T$$

B : anchura de banda de medición (Hz)

S/N : relación S/N recibida.

Como BT es un valor elevado, la distribución chi cuadrado se aproxima a una distribución normal en virtud del teorema central del límite. La ecuación que permite calcular el nivel de confianza en la medición de potencia es:

$$P_{conf} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \alpha^2} \int_{m_n(1-\Delta)}^{m_n(1+\Delta)} e^{-\frac{(q-m_n)^2}{2\sigma^2}} dq \quad (4)$$

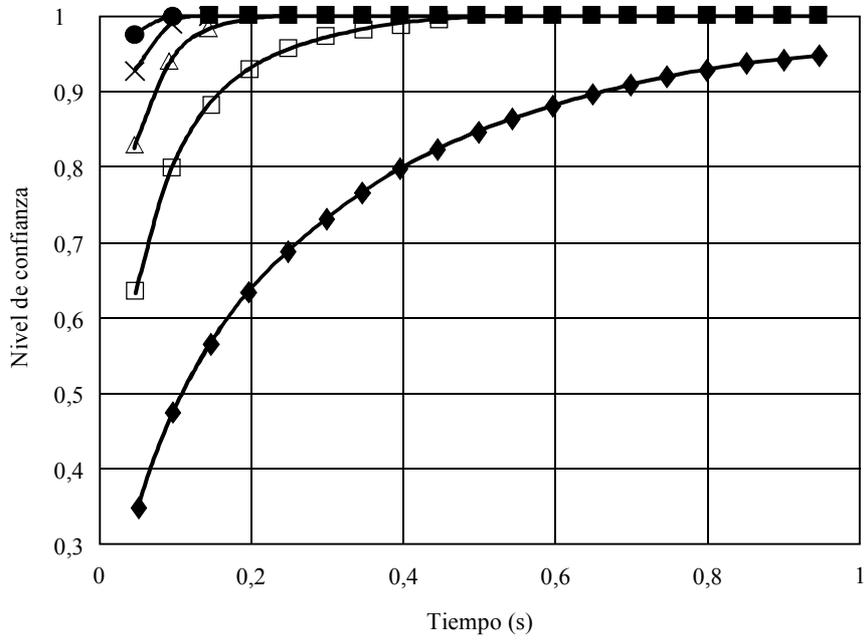
donde P_{conf} es la probabilidad de estar dentro de un intervalo Δ alrededor de la potencia medida y q es una variable sin medidas. La precisión de la medición (dB) es, aproximadamente:

$$\text{Precisión de la medición} \cong \pm 10 * \log(1 + \Delta) \quad \text{dB} \quad (5)$$

En la Fig. 5 se representa la precisión de la medición de potencia de ruido que resulta de utilizar las ecuaciones (2), (4) y (5). Se supone que la anchura de banda de medición, B , es de 40 kHz. A partir de la Figura es posible observar que para una medición que dura 0,1 s, la precisión es de $\pm 0,17$ dB con un nivel de confianza del 99%. Si el tiempo de medición es menor que 0,1 s, podría ser difícil obtener el nivel de confianza requerido. Se pueden obtener resultados más precisos efectuando las mediciones en una anchura de banda de ruido más amplia, si la interferencia ocupa esa anchura de banda. Asimismo, se puede incrementar la precisión aumentando el tiempo de integración, siempre y cuando el impulso de interferencia esté presente durante esa duración mayor. Sin embargo, un tiempo de medición mayor reduce la flexibilidad del sistema de medición. Por ejemplo, puede que no sea posible medir la interferencia en múltiples frecuencias o puede ser difícil medir la cresta del haz.

FIGURA 5

Niveles de confianza en función de la precisión de la medición de potencia de ruido y del tiempo de medición



Precisión de la medición (dB)

- ◆ 0,04
- 0,09
- △ 0,13
- × 0,17
- 0,21

En el Cuadro 3 se presentan los niveles de confianza para una precisión de medición de $\pm 0,2$ dB en las mediciones de señal más ruido de potencia, y para diferentes productos de la *BT*. Obsérvese que es necesario un producto *BT* de cerca de 3 000 para obtener una precisión en la medición de $\pm 0,2$ dB con una confianza del 99%, incluso cuando el *S/N* es sólo de -10 dB.

CUADRO 3

Niveles de confianza para las mediciones de la señal más el ruido en función de la relación *S/N* y del producto de la *BT* de medición para una precisión de la medición de $\pm 0,2$ dB

<i>S/N</i> (dB)	<i>BT</i>				
	30	99	300	1 000	3 000
-10,0	0,216	0,382	0,614	0,887	0,994
-1,2	0,224	0,395	0,632	0,888	0,996
1,5	0,236	0,415	0,658	0,889	0,997
3,1	0,249	0,436	0,685	0,891	0,999
4,3	0,262	0,457	0,71	0,893	0,999
5,3	0,275	0,477	0,733	0,896	1
6,0	0,287	0,496	0,755	0,898	1
6,7	0,298	0,514	0,774	0,901	1
7,2	0,31	0,531	0,792	0,904	1
7,7	0,32	0,547	0,808	0,906	1
8,2	0,331	0,562	0,823	0,909	1
8,6	0,341	0,577	0,837	0,912	1
9,0	0,35	0,591	0,849	0,915	1
9,3	0,36	0,604	0,861	0,917	1
9,6	0,369	0,617	0,871	0,92	1
9,9	0,378	0,629	0,881	0,922	1

La precisión global de la estimación de potencia se define mediante la suma cuadrática de la precisión de calibración del analizador de espectro y de la precisión de la medición. La precisión de calibración del analizador de espectro es de $\pm 0,3$ dB. Si se supone una precisión en la medición de potencia de $\pm 0,2$ dB, se obtiene una precisión global de la estimación de potencia de $\pm 0,36$ dB.

5 Presupuesto de error para el procedimiento total de medición

En este punto se desarrolla el cálculo de la precisión global del procedimiento de medición. En primer lugar, se determina la precisión estimada de la medición CSM y a continuación se combina este valor con las mediciones efectuadas en la estación terrena afectada. Se recomienda que se revisen los resultados numéricos en el futuro teniendo en cuenta los estudios posteriores.

La ecuación (6) muestra la potencia de la señal de referencia en el conector de antena CSM. Para estimar esta potencia, el CSM mide la señal de referencia más el ruido y resta el nivel de ruido medido. Asimismo, en la ecuación (6) se incluye la ganancia del receptor. Se supone que las calibraciones de la ganancia del receptor, para la señal de referencia y el ruido, son idénticas (es decir $G_n/G_C = 1$).

$$P_{Ref}(CSM) = R(CSM) / G_C - N(CSM) \cdot G_n / G_C \quad (6)$$

donde:

- P_{Ref} : potencia de la señal de referencia recibida en el conector de antena
- R : potencia recibida (señal de referencia más ruido) aplicada al dispositivo de medición
- N : potencia de ruido en el conector de antena.

El efecto de las mediciones de ruido sobre la precisión global de P_{Ref} es menor a medida que aumenta la relación S/N de referencia. En el presente análisis se efectúa el cálculo de la precisión suponiendo una relación S/N de referencia de 10 dB.

En el Cuadro 4 se indican las desviaciones típicas asociadas a cada parámetro de la ecuación (6). Si se supone que cada parámetro es una variable aleatoria con distribución gaussiana de valor medio cero, un cálculo del tipo Monte Carlo de la ecuación (6) arroja un valor de la incertidumbre de $\pm 0,45$ dB.

CUADRO 4

Precisión de la medición de la señal de referencia CSM

Parámetro	Error (dB)	Comentarios
G_C, G_n	$\pm 0,34$	Calculado a partir de la ecuación (1) y del Cuadro 2
R	$\pm 0,2$	Medición de la señal de referencia más ruido
N	$\pm 0,2$	Medición de potencia individual realizada mediante un medidor de potencia preciso
	$\pm 0,41$	Precisión asociada con una relación S/N de 10 dB
$P_{Ref}(CSM)$	$\pm 0,45$	Evaluación de la ecuación (6) que utiliza las incertidumbres mencionadas en este Cuadro

El nivel de la señal de referencia que se calcula en la estación CSM se traduce a un nivel de referencia en la estación terrena afectada mediante la ecuación (7) en la que se ha supuesto que pueden realizarse mediciones en órbita precisas de manera que pueden conocerse las ganancias de satélite relativas en los emplazamientos de la estación CSM y de la estación terrena afectada.

$$P_{Ref}(ES) = P_{Ref}(CSM) \cdot \Delta G \cdot \Delta L_{FS} \cdot \Delta L_{ATM} \cdot \Delta G_{sat} \quad (7)$$

donde:

$P_{Ref}(ES)$: Nivel de señal de referencia en la estación terrena efectada

$\Delta G = \frac{G(ES)}{G(CSM)}$: Ganancias de antena relativas en los emplazamientos de la estación CSM y de la estación terrena afectada

$\Delta L_{FS} = \frac{L_{FS}(ES)}{L_{FS}(CSM)}$: Relación entre las pérdidas en el espacio libre, en dirección de la estación terrena afectada, y las pérdidas en el espacio libre en el emplazamiento de la estación CSM

$\Delta L_{ATM} = \frac{L_{ATM}(ES)}{L_{ATM}(CSM)}$: Relación entre las pérdidas atmosféricas en la estación terrena afectada y las pérdidas atmosféricas en el emplazamiento de la estación CSM

$\Delta G_{sat} = \frac{G_{sat}(ES)}{G_{sat}(CSM)}$: Relación entre las ganancias de antena de satélite relativas en dirección de la estación terrena afectada y las ganancias en el emplazamiento de la estación CSM.

En el Cuadro 5 aparecen las desviaciones típicas asociadas a cada parámetro de la ecuación (7). Si se supone que cada parámetro es una variable aleatoria con distribución gaussiana de valor medio cero y se simula la ecuación (7), se obtiene una incertidumbre de $\pm 0,56$ dB.

CUADRO 5

Precisión de las mediciones CSM con respecto a la estación terrena afectada

Parámetro	Error (dB)	Comentarios
$P_{Ref}(CSM)$	$\pm 0,45$	Del Cuadro 4
ΔG	$\pm 0,2$	Errores de puntería más calibración de la antena
ΔL_{FS}	$\pm 0,0$	
ΔL_{ATM}	$\pm 0,1$	Se supone que las mediciones se efectúan en condiciones de cielo despejado
ΔG_{sat}	$\pm 0,2$	Se supone que este parámetro se conoce gracias a mediciones en órbita
$P_{Ref}(ES)$	$\pm 0,56$	Resultado de la simulación de la ecuación (7), utilizando las incertidumbres de los Cuadros 4 y 5

El nivel de referencia medido en la estación CSM se mide también en la estación terrena afectada. El nivel medido en la estación terrena afectada se denomina $\hat{P}_{Ref}(ES)$.

La ecuación (8) indica cómo se utilizan los niveles de referencia medidos para calibrar el nivel de ruido en la estación terrena afectada.

$$N_{cal} = N_{meas} \frac{P_{Ref}(ES)}{\hat{P}_{Ref}(ES)} \quad (8)$$

donde:

N_{cal} : nivel de ruido calibrado en la estación terrena afectada

N_{med} : nivel de ruido medido en la estación terrena afectada.

El Cuadro 6 presenta las desviaciones típicas asociadas a cada parámetro de la ecuación (8). Suponiendo que cada parámetro es una variable aleatoria con distribución gaussiana de valor medio cero, al simular la ecuación (8) se obtiene una incertidumbre de $\pm 0,75$ dB.

CUADRO 6

Precisión de la estimación del nivel de ruido en la estación terrena afectada

Parámetro	Error (dB)	Comentarios
$P_{Ref}(ES)$	$\pm 0,56$	Calculado en el Cuadro 5
$\hat{P}_{Ref}(ES)$	$\pm 0,36$	Medición de potencia individual efectuada mediante un analizador de espectro HP8566A
N_{med}	$\pm 0,36$	Medición de potencia individual efectuada mediante un analizador de espectro HP8566A
N_{cal}	$\pm 0,75$	Resultado de la simulación de la ecuación (8), utilizando las incertidumbres mencionadas en este Cuadro

La medición final es la de interferencia más el ruido en la estación terrena afectada. Se resta el nivel de ruido calibrado de esta medición para poder determinar el nivel de interferencia, tal como muestra la ecuación (9).

$$P_I(ES) = P_{I+N}(ES) - N_{cal}(ES) \quad (9)$$

donde:

$P_I(ES)$: potencia de interferencia en la estación terrena afectada

$P_{I+N}(ES)$: interferencia más ruido en la estación terrena afectada.

En el Cuadro 7 se indican las desviaciones típicas asociadas a cada parámetro de la ecuación (9). Combinando, mediante la suma cuadrática, estos parámetros se obtiene una incertidumbre global de $\pm 0,82$ dB.

CUADRO 7

Precisión de la estimación del nivel de interferencia en la estación terrena afectada

Parámetro	Error (dB)	Comentarios
$N_{cal}(ES)$	$\pm 0,75$	Calculado en el Cuadro 6
$P_{I+N}(ES)$	$\pm 0,36$	Medición de potencia individual mediante un analizador de espectro HP8566A
$P_I(ES)$	$\pm 0,82$	Suma cuadrática de las incertidumbres en este Cuadro

6 Resumen

En el presente Anexo se ha estimado una precisión de medición global de $\pm 0,82$ dB.

Para efectuar este cálculo se hicieron las siguientes hipótesis:

- Se ignoraron los cambios de nivel de la señal no OSG debidos a variaciones de tráfico durante las mediciones.
- Se dispone de un emplazamiento de estación CSM en el mismo haz que la estación terrena afectada. Dicho emplazamiento está bien calibrado con un sistema de comprobación técnica integrado. Se ignoraron los errores de calibración en el bucle de medición.
- Se supone que la señal de referencia en el emplazamiento de la estación CSM es una señal piloto transmitida en la banda de guarda adyacente a la portadora afectada por la interferencia no OSG.
- Existe un sistema de medición automático en la estación terrena afectada que detecta el impulso de interferencia no OSG y almacena una cantidad de datos suficiente para asegurar que se puede medir con precisión el nivel de interferencia de cresta.
- La estación terrena afectada debe controlar solamente una sola frecuencia. Cuando sea necesario controlar múltiples frecuencias, es posible que no haya tiempo suficiente para efectuar mediciones precisas.
- Se efectúan todas las mediciones al mismo tiempo o casi al tiempo que la interferencia no OSG, de tal manera que no haya variación en el nivel de ruido del sistema receptor debida a intermodulaciones y a la interferencia del satélite adyacente. Es necesario estudiar con más detalle esta hipótesis.