

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1512

Procedimiento de medición para determinar la potencia isotrópica radiada equivalente y la discriminación de antena en satélites no geoestacionarios

(Cuestiones UIT-R 231/4 y UIT-R 42-1/4)

(2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que algunas bandas de frecuencias están atribuidas a las redes de satélites no geoestacionarios (no OSG);
- b) que el número de sistemas de satélites no OSG en funcionamiento y planificados ha aumentado significativamente durante los últimos 10 años;
- c) que la interferencia que experimentan dichos sistemas será cada vez más significativa para otros usuarios que comparten las bandas de frecuencias a título primario;
- d) que los operadores de redes de satélites no OSG y las administraciones pueden desear medir ciertas características de radiofrecuencia (RF) de los satélites no OSG;
- e) que las características de RF de los satélites no OSG son más difíciles de medir que las de los satélites OSG pues los primeros se mueven respecto a la superficie de la Tierra,

recomienda

1 que se utilice el procedimiento de prueba del Anexo 1 como guía para determinar la potencia isotrópica radiada equivalente (p.i.r.e.) y la discriminación de la antena de los satélites no OSG. Pueden utilizarse los Anexos 2 y 3 formando parte del procedimiento de medición para determinar los niveles de señal máximo y mínimo recibidos por la estación de prueba.

ANEXO 1

Procedimiento de medición para determinar la p.i.r.e. y la discriminación de antena de los satélites no OSG**1 Introducción**

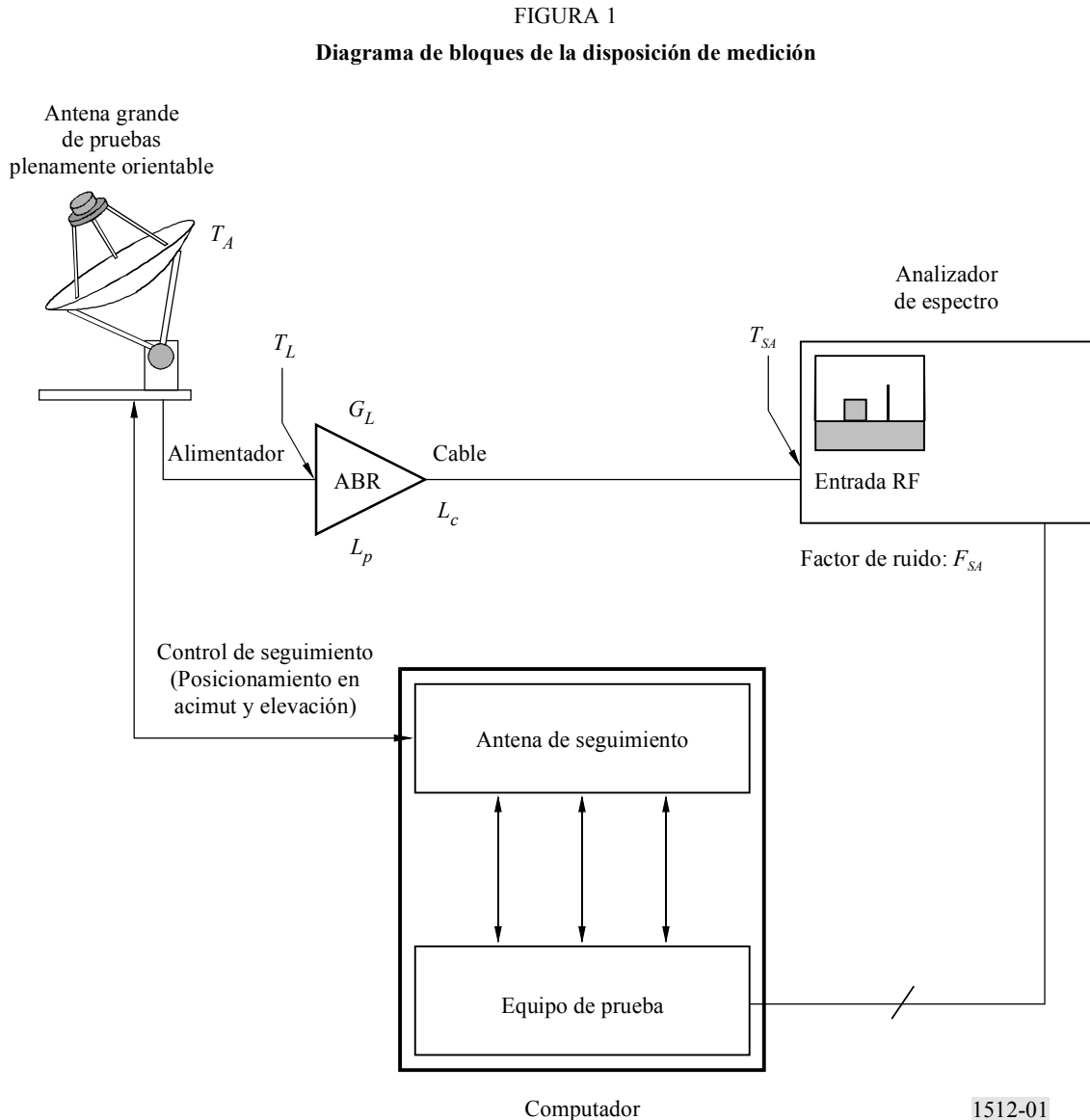
Con el procedimiento indicado a continuación se pretende orientar a las administraciones que desean efectuar mediciones repetibles de la p.i.r.e. en el enlace descendente y del diagrama de ganancia en transmisión de satélites no OSG operacionales.

2 Requisitos en cuanto a equipo

El método de prueba implica la utilización de una estación terrena con antena grande, totalmente orientable, capaz de seguir un satélite, un analizador de espectro capaz de efectuar las mediciones necesarias y un computador que controle el funcionamiento automatizado de un programa de prueba con el que efectuar las mediciones y registrar los datos en un fichero.

3 Descripción del equipo de prueba

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de la configuración de prueba. Cada uno de los parámetros indicados en la Fig. 1 se define en el Cuadro 1.



Antena de prueba: La antena de prueba debe ser plenamente orientable a lo largo de la mayor parte posible del horizonte. El reflector de antena debe ser lo más grande posible a fin de obtener una gran ganancia en recepción que se traduzca en una gama dinámica elevada con la que efectuar las mediciones. No obstante, la velocidad de cambio de puntería de la antena debe permitirle permanecer apuntada al satélite no OSG a medida que se desplace por el cielo. El amplificador de bajo nivel de ruido (ABR) debe tener una temperatura de ruido tan reducida como sea posible a fin de minimizar el umbral mínimo de ruido del equipo de prueba. El cable de conexión del ABR con el analizador de espectro debe ser lo más corto posible y de buena calidad, a fin de minimizar el ruido que aporta a la configuración de prueba.

Analizador de espectro: Se precisa un analizador de espectro que tenga capacidad de control digital por un computador y de transferencia a éste de los datos medidos. Normalmente se utiliza para este tipo de aplicaciones una conexión en barra bus de datos entre el computador y el analizador de espectro. Además, el analizador de espectro debe tener un nivel de ruido que sea inferior al del

ruido del equipo, pues de otra manera el nivel de ruido del analizador de espectro limitará la gama dinámica en la que se pueden efectuar las mediciones. Este valor puede calcularse analíticamente determinando la temperatura del equipo de pruebas (véase el Anexo 3) y comparándola con la del analizador. Un método alternativo para el cálculo analítico es el de atenuar la señal 10 dB en el analizador de espectro y verificar que la relación $(I + N)/N$ ha variado en menos de 1 dB.

Sistema de computador: El sistema informático sirve para dos funciones. En primer lugar debe dirigir la antena hacia el satélite no OSG y en segundo lugar debe recopilar los datos necesarios. Para realizar la primera función se han de estudiar los datos orbitales del satélite no OSG (altura del apogeo, altura del perigeo, inclinación, argumento del perigeo e instante del nodo ascendente), a fin de predecir cuándo y dónde aparecerá en el horizonte. El satélite puede a continuación seguir prediciendo su emplazamiento a lo largo del tiempo o utilizando un sistema de seguimiento en bucle cerrado que forma parte del subsistema de antena. La segunda función del computador es la de efectuar las mediciones en intervalos de tiempo regulares y registrar éstas en un fichero informático, junto con otros datos de la posición, tales como el azimut y la elevación de la antena de prueba.

CUADRO 1

Parámetros fijos necesarios para las pruebas de caracterización de satélites no OSG

Descripción del parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Parámetros nominales de satélite no OSG			
Potencia de transmisión aplicada a la antena	P_S	dBW	
Altitud del satélite	h_s	km	
Anchura de banda ocupada en el enlace descendente cuando hay modulación	B_{Soc}	MHz	
p.i.r.e. _s - L_S (si es constante)	p.i.r.e. _s - L_S	dB	
Diferencia (p.i.r.e. _s - L_S) (variable) ⁽¹⁾	Dif. (p.i.r.e. _s - L_S)	dB	
Frecuencia del enlace descendente	f_D	GHz	
Anchura de banda de referencia	B_{ref}	Hz	
Coordenadas de la antena de prueba			
Latitud	f_{test}	gg:mm:ss.s	
Longitud	l_{test}	ggg:mm:ss.s	
Altura de la antena (sobre el nivel medio del mar)	h_{test}	m	
Características de la antena de prueba			
Diámetro	D_{test}	m	
Ganancia en recepción (en f_D)	$G_{RX\ test}$	dBi	
Temperatura de ruido	$T_{A\ test}$	K	

CUADRO 1 (fin)

Descripción del parámetro	Símbolo	Unidades	Valor
Parámetros de la disposición de pruebas			
Pérdidas del alimentador de antena	L_F	dB	
Ganancia del ABR	G_L	dB	
Temperatura de ruido del ABR	T_L	K	
Pérdidas del cable	L_c	dB	
Datos del analizador de espectro			
Marca y número del modelo			
Controles del analizador de espectro durante las mediciones			
Atenuación de la entrada		dB	
Nivel de referencia		dBm	
Resolución en amplitud		dB/Div	
Frecuencia central	F_C	GHz	
Elongación de frecuencia	SPAN	kHz	
Anchura de banda de resolución	ResBW	kHz	
Anchura de banda de vídeo	VBW	kHz	
Umbral de ruido normalizado ⁽²⁾	NO_{SA}	dBm	

- (1) En el caso en que no se utilicen haces enganchados o una antena isoflux en el satélite no OSG, debe indicarse la diferencia entre la p.i.r.e. $-L_S$ en el eje y la p.i.r.e. $-L_S$ mínima en el extremo del haz para la zona de servicio pretendida.
- (2) El nivel mínimo de ruido visualizado es el que se determina tras aplicar los factores de corrección para el amplificador logarítmico, el detector de envolvente y la anchura de banda de resolución normalizada.

4 Realización de las pruebas

Cálculo de la potencia máxima: El primer paso de la preparación del equipo consiste en asegurar que la configuración no está sobrecargada por la potencia máxima recibida en toda la anchura de banda del ABR. Ajustando ganancias o añadiendo atenuación a lo largo del trayecto de recepción, es posible asegurar que el analizador de espectro no resulta sobrecargado. Puede utilizarse la expresión indicada a continuación para calcular el nivel de la señal recibida de la portadora de prueba que se mide, a la entrada del analizador de espectro.

$$P_{RX\ test} = P_s + G_s - (L_s + L_{abs}) + G_{RX\ test} + G_{test-set} \quad (1)$$

siendo:

$P_{RX\ test}$: potencia de la señal recibida en el analizador de espectro (dBW)

P_s : potencia en el borde de la antena del satélite (dBW)

G_s : ganancia de la antena del satélite en la dirección de la estación de prueba (dBi)

L_s : pérdidas en el espacio libre que se calculan utilizando la ecuación:

$$L_s = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad \text{dB}$$

donde:

d : distancia desde la antena de prueba al satélite (m)

λ : longitud de onda de la señal (m)

L_{abs} : absorción atmosférica (dB)

$G_{RX\ test}$: ganancia de la antena de prueba, incluyendo las pérdidas del alimentador (medida en el extremo de salida) (dBi)

$G_{test-set}$: ganancia del equipo de prueba que se calcula utilizando la ecuación:

$$G_{test-set} = G_L - L_c \quad (2)$$

donde:

G_L : ganancia del ABR (dB)

L_c : pérdidas del cable (dB).

En el Anexo 2 figura un ejemplo de cálculo de la potencia máxima recibida.

Cálculo de la potencia mínima: Ha de calcularse el nivel mínimo de ruido del analizador de espectro y del equipo de pruebas para determinar la gama dinámica en la que se puedan efectuar las mediciones. En el Anexo 3 se indica el método para determinar la potencia mínima práctica de la señal que puede medirse con el equipo de pruebas.

Calibración de la p.i.r.e.: El próximo paso consiste en calibrar el equipo de pruebas. La determinación de la p.i.r.e. del satélite no OSG se efectúa de la forma más precisa midiendo el nivel de energía en una fuente con una p.i.r.e. conocida. El nivel medido se utiliza entonces como referencia de la densidad de flujo de potencia (dfp) que puede utilizarse para determinar la p.i.r.e. del satélite no OSG. Pueden utilizarse diversas fuentes estables de RF como referencia de calibración, tales como una baliza de satélite OSG que transmita una p.i.r.e. conocida o determinadas estrellas radioeléctricas. Si no se calibra el equipo de esta manera, las mediciones efectuadas darán información sobre la ganancia relativa del satélite no OSG en diversas direcciones, pero no permitirán determinar la potencia exacta radiada en una dirección determinada.

En el proceso de calibración, es importante medir la variación de la ganancia en recepción del equipo de pruebas en toda la banda de frecuencias que se utilizará para éstas. Como no es raro encontrar variaciones de 2 a 3 dB en la banda de medición, es importante conocer la amplitud de la variación de la ganancia entre la frecuencia utilizada para medir el nivel de la p.i.r.e. de referencia y la frecuencia a la que se efectuará la medida.

Medición de la señal de un satélite no OSG: En cada paso de un satélite no OSG determinado, la antena orientable sigue al satélite y se efectúan mediciones de la energía procedente de él. En cada punto de medición, es necesario registrar el acimut y la elevación de la antena para el procesamiento posterior. Antes de cada nueva medición, el programa encargará al analizador de espectro que libere la traza. Debe realizarse un promedio en tres barridos de toda la banda de frecuencias para minimizar el efecto de cualquier fluctuación de corta duración en el nivel de la potencia transmitida.

Es necesario que el tiempo entre muestras de datos sea suficientemente corto a fin de obtener la forma de los lóbulos laterales de la antena del satélite. La complejidad del diagrama del haz de transmisión del satélite no OSG y la altitud del satélite son dos variables que es necesario considerar al establecer el intervalo de tiempo requerido entre mediciones. El tiempo mínimo de establecimiento necesario para los equipos se determina a partir del tiempo que necesita el

analizador de espectro para completar los tres barridos, efectuar la medición, pasar la información al computador y que éste la almacene. El tiempo mínimo de barrido del analizador de espectro es función de la elongación y de la anchura de banda de resolución y se obtiene de las especificaciones del fabricante.

Cuando el satélite no OSG pasa por una zona próxima al arco OSG, será necesario tener en cuenta la posible contribución de la interferencia procedente de los satélites OSG. Ello puede limitar el volumen de datos que puede obtenerse cuando la antena de prueba atraviesa una región estrecha alrededor del arco OSG. Puede ser útil efectuar un análisis inicial del arco OSG antes del inicio de las pruebas a fin de hallar una banda estrecha no utilizada a lo largo de un tramo significativo del arco OSG en el que pueda utilizarse una portadora de prueba en onda continua.

Las pruebas deben efectuarse en condiciones de cielo despejado a fin de minimizar la variación de los niveles de la señal medida a lo largo del ensayo. Preferentemente, el emplazamiento de la instalación de pruebas debe tener un horizonte con un ángulo de elevación próximo a 0° en todas las direcciones para obtener el mayor campo de visión posible.

Si el satélite no OSG se desplaza por una traza en el suelo repetitiva, sólo habrá un grupo finito de secciones de medición en el diagrama de antena. Puede ser necesario efectuar pruebas desde nuevos emplazamientos a fin de obtener datos suficientes para caracterizar el diagrama de la p.i.r.e. transmitida por el satélite no OSG.

5 Procesamiento de los datos recopilados

Satélite no OSG con valores de la p.i.r.e. fijos en el tiempo: Si el satélite no OSG presenta valores de la p.i.r.e. que no varían respecto al punto subsatelital, cada paso por el emplazamiento de prueba constituye un corte del diagrama de antena. Con cortes suficientes es posible construir una representación de la p.i.r.e. del satélite con sus ángulos de cabeceo y balanceo respecto al nadir.

A fin de obtener dicha representación partiendo de los datos recogidos, es necesario determinar los parámetros de la órbita no OSG junto con el acimut y la elevación de la antena de prueba en cada punto de datos:

d : distancia al satélite no OSG desde la estación de prueba

θ_1 : ángulo de cabeceo de la estación de prueba respecto al nadir del satélite

θ_2 : ángulo de balanceo de la estación de prueba respecto al nadir del satélite.

Puede utilizarse la ecuación siguiente para hallar la p.i.r.e. del satélite no OSG ($p.i.r.e._s$) en la dirección (θ_1, θ_2):

$$p.i.r.e._s = p.i.r.e._{ref} + 20 \log \left[\frac{d_{ref}}{d_{mes}} \right] + \Delta level + cal \quad (3)$$

siendo:

$p.i.r.e._{ref}$: p.i.r.e. de la fuente de referencia (dBW)

d_{ref} : distancia de la estación terrena a la fuente de referencia (m)

d_{mes} : distancia desde la estación terrena al satélite sometido a prueba (m)

$\Delta level$: diferencia de potencia medida entre el nivel de la fuente de referencia y el satélite no OSG (dB)

cal : variación de la ganancia entre la frecuencia de referencia y la frecuencia medida (dB).

Una vez convertidos todos los puntos de datos en valores de la p.i.r.e.s, θ_1 y θ_2 , puede efectuarse una representación de la p.i.r.e.s en función de θ_1 y θ_2 . Pueden utilizarse programas informáticos que dibujen contornos de los datos en tres dimensiones para simplificar la representación de la información. La comparación de estos gráficos para los distintos satélites de la constelación pondrá de manifiesto si cada uno de los satélites funciona fuera de su envolvente especificada.

Satélite no OSG con valores de la p.i.r.e. variables en el tiempo: En los casos en que la p.i.r.e. del satélite no OSG varía en el tiempo, no es posible establecer un diagrama de la p.i.r.e. Ejemplo de este tipo de esquema es el de haces enganchados, en el que el haz del satélite no OSG se queda enganchado apuntando a un emplazamiento geográfico determinado mientras que dicho emplazamiento sea visible. Al igual que el satélite OSG, la estación de prueba que observa un satélite no OSG con haz enganchado verá siempre el mismo punto en el haz del satélite no OSG.

Para satélites no OSG con valores de p.i.r.e. variables en el tiempo, lo máximo que puede deducirse es la densidad de flujo de potencia equivalente (dfpe) del emplazamiento de pruebas para un satélite o para toda la constelación, si el satélite no OSG se encuentra en una traza sobre el suelo repetitiva (véase la Nota 1). Ello se logra hallando en primer lugar la dfp en el emplazamiento de prueba para cada punto de prueba, mediante la ecuación:

$$\Phi = p.i.r.e.ref - L_{abs-ref} - L_{s-ref} + G_{1m^2} + \Delta level + cal \quad (4)$$

siendo:

- Φ : dfp en el emplazamiento debida al satélite no OSG en la anchura de banda de referencia (B_{ref}) del analizador de espectro ($dB(W/(m^2 \cdot B_{ref}))$)
- $p.i.r.e.ref$: p.i.r.e. de la fuente de referencia (dBW)
- $L_{abs-ref}$: pérdidas atmosféricas en la dirección de la fuente de referencia (dB)
- L_{s-ref} : pérdidas en el espacio libre en la dirección de la fuente de referencia (dB)
- G_{1m^2} : ganancia de una antena de $1 m^2$ (dBi)
- cal : variación de la ganancia entre la frecuencia de referencia y la frecuencia medida (dB).

Una vez que se conocen la dfp, el acimut y la elevación respecto a la antena de prueba, puede añadirse a los datos el contorno fuera del eje de los valores de puntería de antena hacia el satélite OSG, para obtener la dfpe procedente de un satélite no OSG específico. Utilizando todos los puntos de datos obtenidos, es posible calcular las estadísticas de la dfpe por satélite no OSG. Comparando estas estadísticas entre los distintos satélites de la constelación, se identificará todo satélite individual que pueda funcionar fuera de su envolvente de calidad.

Además, si la constelación funciona con trazas repetitivas en el suelo, es posible aplicar un desfase temporal correspondiente a los parámetros de la órbita no OSG y una suma cuadrática de las mediciones obtenidas de otros satélites no OSG de la constelación visibles en el cielo en ese momento para determinar las estadísticas de la dfpe de la constelación.

NOTA 1 – Aquí se supone que la contribución debida a los otros satélites es despreciable para las constelaciones con traza repetitiva en el suelo. Esta hipótesis puede no siempre ser cierta para todos los tamaños de antena del SFS OSG o para todas las constelaciones con trazas repetitivas en el suelo.

6 Factores que afectan a la precisión de las mediciones

La precisión de todas las mediciones de la señal del enlace descendente efectuadas utilizando un analizador de espectro estarán limitadas por la precisión en amplitud del propio analizador, aunque puede haber variaciones menores del nivel de la señal que no sean debidas al equipo de medición. Muchas de estas variaciones del nivel de la señal pueden minimizarse. Al interpretar los datos de las mediciones utilizando este procedimiento de prueba se adoptan las hipótesis siguientes:

- Las diferencias de la temperatura de ruido de la antena en una gama de ángulos de elevación tienen poca repercusión en las mediciones de la relación $(I + N)/N$. Para una mayor precisión, puede tenerse en cuenta la repercusión de la temperatura de ruido de la antena en función del ángulo de elevación.
- Se utiliza el control de potencia en el enlace ascendente (UPC) en todos los enlaces ascendentes hacia el satélite no OSG y se compensa perfectamente, dB por dB, el desvanecimiento debido a la lluvia en el enlace ascendente. No obstante, en las redes de satélites no OSG que utilizan procesamiento a bordo (OBP), pueden dejarse de lado los efectos de la propagación en dicho enlace ascendente.
- Las variaciones del nivel de la potencia transmitida en las estaciones terrenas de sistemas no OSG y en el satélite no OSG son despreciables. También en este caso, si se emplea el OBP, puede dejarse de lado la variación del nivel de la potencia del transmisor en la estación terrena del sistema no OSG.
- Las inexactitudes del seguimiento de la antena de la estación terrena de la red de satélites no OSG y la de la antena de prueba son pequeñas en promedio y no afectan de forma significativa a los niveles de interferencia que se miden.
- Las diferencias de la absorción atmosférica en una gama de ángulos de elevación son pequeñas, pero aumentan al aumentar la frecuencia y al reducir el ángulo de elevación. Esta generalización es válida cuando la frecuencia es inferior a 15 GHz y el ángulo de elevación es superior a 10° . No obstante, cuando la frecuencia es superior a 15 GHz o el ángulo de elevación es inferior a 10° , debe tenerse en cuenta la absorción atmosférica para lograr las precisiones deseadas.
- El sentido de la polarización de la antena del satélite interferente y de la antena de la estación terrena de seguimiento afectarán al nivel de la densidad de potencia de ruido no OSG recibido por la estación terrena. Para un satélite no OSG que utilice la polarización circular y una estación terrena OSG que reciba ondas polarizadas linealmente en el sentido vertical y/o horizontal, la señal recibida variará entre 1 y 3 dB, dependiendo del alineamiento de las antenas y del ángulo de separación del eje de la antena de estación terrena respecto al centro del haz principal del satélite. En la práctica, es probable que el factor de acoplamiento sea considerablemente inferior a 3 dB excepto cuando el haz principal del satélite no OSG apunte directamente a la antena de la estación terrena de seguimiento. No obstante, la ganancia del haz principal de la antena del satélite no OSG se conoce con mucha más precisión que la de los lóbulos laterales y por tanto puede tenerse en cuenta para todo procesamiento posterior de los datos recogidos.

ANEXO 2

Ejemplo de cálculo de la potencia máxima recibida a la entrada del ABR en la disposición de prueba

La potencia recibida por un terminal de estación terrena procedente de una fuente de señal situada a una distancia d viene dada por la expresión:

$$p_R = \frac{p_T \cdot g_T}{4\pi d^2} \cdot g_R \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \text{W}/B_{ref} \text{ (Hz)} \quad (5)$$

siendo:

p_R : potencia recibida a la entrada del analizador de espectro (W)

p_T : potencia en el extremo de la antena del satélite no OSG (W)

g_T : ganancia de cresta del satélite no OSG en la dirección de la instalación de prueba

d : distancia entre la instalación de prueba y el satélite no OSG (m)

g_R : ganancia en la estación terrena receptora.

Como:

$$\Phi = 10 \log \left(\frac{p_T \cdot g_T}{4\pi d^2} \right) \equiv \text{dfp} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot B_{ref} \text{ (Hz)))}$$

$$G_R = 10 \log(g_R) \equiv \text{ganancia de la antena de prueba} \quad \text{dBi}$$

$$G_{1 \text{ m}^2} = 10 \log \left(\frac{4\pi}{\lambda^2} \right) \equiv \text{ganancia de una antena de } 1 \text{ m}^2 \quad \text{dBi}$$

La ecuación (5) puede formularse de la siguiente manera:

$$P_R = \Phi + G_R - G_{1 \text{ m}^2} \quad \text{dB(W}/B_{ref} \text{ (Hz))} \quad (6)$$

Volviendo a formular la ecuación (6) en función del diámetro de la antena de prueba, D (m), y el rendimiento, η (%), la potencia recibida a la salida de la antena de prueba es:

$$P_R = \Phi + 20 \log(D(m)) + 10 \log(\eta/100) - 1,05 \quad \text{dB(W}/B_{ref} \text{ (Hz))} \quad (7)$$

Si, por ejemplo, la dfp máxima prevista en una anchura de banda de referencia de 40 kHz recibida por una antena de prueba de 8 m con un rendimiento del 65% es de $-131 \text{ dB(W/m}^2)$, y el equipo de prueba tiene unas pérdidas en el sistema alimentador de 1 dB con una ganancia del equipo de prueba de 42 dB, la potencia máxima recibida en una anchura de banda de referencia de 40 kHz a la entrada del analizador de espectro es:

$$P_R = -131 + 20 \log(8) + 10 \log(65/100) - 1,05 - 1 + 42 = -74,9 \text{ dB(W}/40 \text{ kHz)}$$

Si la anchura de banda total ocupada de todo el espectro del enlace descendente fuera de 2,0 GHz con un valor uniforme de la dfp a lo largo de toda la anchura de banda ocupada, la potencia máxima total en el analizador de espectro sería:

$$P_{R\ Total} = -74,9 \text{ dB(W/40 kHz)} + 10 \log(2 \times 10^9 / 40 \times 10^3) = -27,9 \text{ dBW} = 2,1 \text{ dBm}$$

El nivel de la potencia total que entra al analizador de espectro debe estar comprendido dentro de los límites de potencia total máxima admisible de la mayoría de los analizadores de espectro. En el caso de que el nivel calculado de la potencia máxima total rebasa el nivel máximo de seguridad de potencia a la entrada del analizador de espectro, puede ser necesario insertar una cierta atenuación antes de la entrada del analizador de espectro. Véase que cuando la antena de prueba atraviesa la OSG, se encontrará también con niveles de señal medidos relativamente elevados. Dado que la diferencia entre las pérdidas del trayecto hasta el satélite OSG son generalmente superiores a la cantidad en la que la p.i.r.e. del satélite OSG puede rebasar la p.i.r.e. del satélite no OSG en una anchura de banda de referencia determinada, la potencia instantánea calculada recibida en el analizador de espectro procedente de una situación de alineación más desfavorable con el satélite no OSG representa un caso típico más desfavorable. No obstante, sería aún prudente calcular ambos casos para asegurarse de que el equipo de prueba está protegido.

ANEXO 3

Nivel de medición mínimo

Es necesario determinar el nivel mínimo de medición a fin de establecer una gama dinámica en la que puedan efectuarse mediciones precisas. El nivel se establece mediante el umbral mínimo de ruido del equipo de prueba. En el análisis que sigue, los términos en mayúsculas van en dB y los términos en minúsculas se expresan en valores absolutos.

Para hallar el comportamiento del sistema se utilizó en primer lugar la ecuación que representa el modelo del enlace de RF:

$$P_{RX\ test} = P_s + G_s - L_s - L_{abs} + G_{RX\ test} + G_{test-set} \quad (8)$$

siendo:

$P_{RX\ test}$: potencia de la señal recibida (dBW)

P_s : potencia en el extremo de la antena del satélite (dBW)

G_s : ganancia de la antena del satélite en la dirección de la estación de prueba (dBi)

L_s : pérdidas en el espacio libre, que se calculan utilizando la ecuación:

$$L_s = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad \text{dB} \quad (9)$$

donde:

d : distancia desde la antena de prueba al satélite (m)

λ : longitud de onda de la señal de RF (m)

L_{abs} : absorción atmosférica (dB)

$G_{RX\ test}$: ganancia de la antena de prueba, incluyendo las pérdidas del alimentador (medida en el extremo de salida) (dBi)

$G_{test-set}$: ganancia del equipo de prueba, que se calcula utilizando la ecuación:

$$G_{test-set} = G_L - L_c \quad \text{dB}$$

donde:

G_L : ganancia del ABR (dB)

L_c : pérdidas del cable (dB).

Un analizador de espectro visualiza un nivel de potencia que incluye la potencia deseada y la potencia de ruido en la anchura de banda de interés. La relación entre el nivel de interferencia no OSG medido y el umbral mínimo de ruido medido se representa de forma más precisa mediante el término $(I + N)/N$ que muestra la contribución de la energía de ruido al nivel de interferencia no OSG medido. En la mayoría de los casos en los que $I \gg N$, $I/N \cong (I + N)/N$, aunque esto no se aplica para valores de $(I + N)/N < 5$ dB. Esta relación puede expresarse mediante la ecuación siguiente:

$$\left(\frac{I + N}{N} \right) = 10 \log \left(\frac{P_{RX\ test} + n_{test-set}}{n_{test-set}} \right) \quad (10)$$

en la que:

$(I + N)/N$: relación entre la potencia de interferencia no OSG y la potencia de ruido medida en el analizador de espectro (dB)

$P_{RX\ test}$: potencia de la señal a la entrada del analizador de espectro (W)

$n_{test-set}$: potencia de ruido con referencia a la entrada del analizador de espectro (W).

Los términos pueden disponerse de la forma siguiente:

$$P_{RX\ test} = 10 \log \left\{ n_{test-set} \left(10^{\frac{\left(\frac{I+N}{N} \right)}{10}} - 1 \right) \right\} \quad (11)$$

Entonces, dfp (dB(W/m²)) + apertura de la antena (dB(m²)) + $G_{test-set} = P_{RX\ test}$ y apertura de la antena = $\pi (D_{test}^2/4)$ (eficacia).

Así:

$$\Phi = P_{RX\ test} + 1,049 - 10 \log(\eta/100) - 20 \log D_{test} - G_{test-set} \quad (12)$$

siendo:

Φ : dfp (dB(W/m²) en ResBW (Hz))

η : rendimiento de la antena de prueba (%)

D_{test} : diámetro de la antena de prueba (m).

La anchura de banda de resolución (ResBW) del analizador de espectro constituye la anchura de banda de referencia en la que se aplica la dfp.

Puede determinarse el ruido de todo el equipo de prueba utilizando la expresión:

$$n_{test-set} = n_{set-up} + n_{sa}$$

Si se selecciona un analizador de espectro de forma que la contribución de ruido del analizador de espectro N_{sa} , sea significativamente inferior al nivel de ruido del conjunto del equipo de prueba, N_{set-up} :

$$N_{test-set} \cong N_{set-up}$$

Para hallar n_{set-up} :

$$t_{set-up} = \left(\frac{t_A}{l_f} + \left(\frac{l_f - 1}{l_f} \right) t_0 + t_L \right) \left(\frac{g_L}{l_c} \right) + \left(\frac{l_c - 1}{l_c} \right) t_0 \quad (13)$$

siendo:

t_A : temperatura de ruido de la antena (K)

l_f : pérdidas del alimentador de antena

t_0 : temperatura del medio(K)

t_L : temperatura del ABR (K)

l_c : pérdidas del cable

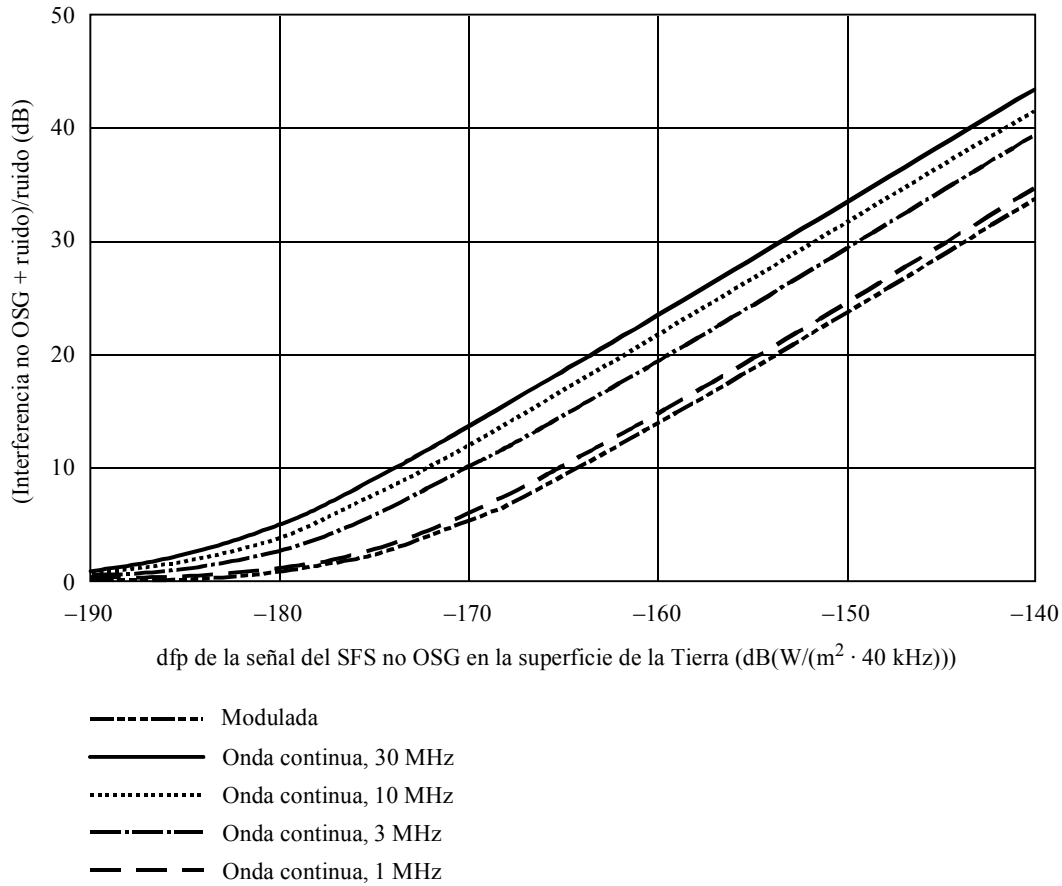
g_L : ganancia del amplificador ABR.

Sustituyendo el resultado obtenido de la ecuación (13) y los otros parámetros del equipo de prueba en la ecuación (12) se obtiene la dfp indicada más adelante cuyos resultados disminuyen en precisión.

A fin de obtener valores superiores de $(I + N)/N$ al medir el nivel de la señal interferente del enlace descendente procedente del satélite no OSG, conviene poder utilizar una portadora de onda continua no modulada como señal de prueba. Como casi toda la potencia cae dentro de una banda muy estrecha, la mejora de la relación $(I + N)/N$ puede obtenerse reduciendo la anchura de banda de resolución del analizador de espectro. No obstante, cuando la señal que se mide está modulada digitalmente, la relación $(I + N)/N$ sólo viene determinada por la relación entre la potencia recibida en la anchura de banda de resolución (ResBW) y el ruido total en dicha RBW, y por tanto no puede obtenerse ninguna mejora de la $(I + N)/N$ reduciendo la ResBW. La Fig. 2 muestra la $(I + N)/N$ que puede medirse para una portadora no modulada y una portadora con modulación digital. Dada la potencia total superior en portadoras interferentes de banda más amplia (10 y 30 MHz), no es necesario transmitir una portadora de prueba de onda continua con la potencia total de la portadora modulada para lograr las mejoras necesarias de la $(I + N)/N$.

FIGURA 2
 (I + N)/N medida de los niveles de señal del SFS no OSG en el equipo de prueba

Señal del SFS no OSG + ruido, medidos por encima del umbral mínimo de ruido del analizador de espectro



Anchura de banda y modulación de la señal del SFS no OSG.

Nota 1 – Se aplica una reducción a la potencia total de cada señal del SFS no OSG de 6 y 3 dB, respectivamente, para las portadoras de 30 y 10 MHz, respecto a la potencia total de la señal modulada.

1512-02

NOTA 1 – Lo anterior es un ejemplo ilustrativo de la mejora lograda utilizando una anchura de banda de resolución menor en las condiciones definidas en el Cuadro 2. La gama dinámica real de una instalación de prueba específica variará dependiendo de las características del emplazamiento. El ejemplo sólo representa a la repercusión del ruido térmico sin considerar otras fuentes exteriores de interferencia.

CUADRO 2

Ejemplo de cálculo de la temperatura de ruido*Datos del equipo de prueba*

T_{ANT} :	25 K
L_F :	1 dB
T_{LNA} :	100 K
G_{LNA} :	45 dB
L_C :	3 dB
$G_{test-set}$:	42 dB

Datos de la antena de prueba

Diámetro de la antena:	8 m
Apertura eficaz:	65%
dfp incidente:	-160,0 dB(W/(m ² · 40 kHz))

A la entrada del ABR

B_{ref} :	40 kHz
I_{test} :	-145,86 dB(W/ B_{ref})
T_{SYS} :	179,5 K
$I/N_{térmico}$:	14,18 dB

A la entrada del receptor

$C_{RX I/P}$:	-103,9 dB(W/ B_{ref})
T_{SA} (entrada con terminación):	341 193 K
T_{SYS}' :	2 845 000 K
T_{SA}' (equipo de prueba a I/P):	3 186 000 K
Umbral mínimo de ruido resultante:	-125,3 dBm/ResBW
Aumento del nivel de ruido I/N :	9,70 dB
$I/N_{térmico}$:	13,69 dB
Reducción de la relación I/N :	0,49 dB

Datos del analizador de espectro

Umbral mínimo de ruido representado:	-135,0 dBm/ResBW
Umbral mínimo de ruido real:	-133,29 dBm/ResBW
ResBW:	10 Hz
Factor de ruido:	30,71 dB
