

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1427-1

Metodología y criterio para evaluar la interferencia producida por transmisores de sistema de acceso inalámbrico/redes radioeléctricas de área local* terrenales a los enlaces de conexión del servicio móvil por satélite en las redes de satélites no geostacionarios en la banda 5 150-5 250 MHz**

(Cuestión UIT-R 248/4)

(2000-2006)

Cometido

Esta Recomendación proporciona una metodología y un criterio que permiten evaluar la interferencia producida por transmisores terrenales de sistema de acceso inalámbrico/redes radioeléctricas de área local (WAS/RLAN) a los enlaces de conexión SMS no OSG (Tierra-espacio) en la banda 5 150-5 250 MHz, reflejándose también los resultados de la CMR-03 al respecto.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el posible despliegue a gran escala de transmisores WAS/RLAN en la banda 5 150-5 250 MHz podría producir interferencia a los sistemas de satélites SMS no OSG, cuyos enlaces ascendentes de conexión funcionan en esta banda;
- b) que el posible despliegue a gran escala de transmisores WAS/RLAN en la banda 5 150-5 250 MHz podría causar una reducción significativa en la capacidad de los transpondedores de los satélites del SMS;
- c) que los transmisores WAS/RLAN en la banda 5 150-5 250 MHz están funcionando en un régimen exento de licencias o sujeto a licencia de clase en numerosos países;
- d) que la cobertura del haz del enlace de conexión SMS no OSG es de naturaleza regional y/o global;
- e) que sólo se puede tener en cuenta la interferencia WAS/RLAN en términos de un incremento combinado y constante en el nivel de ruido del enlace de conexión SMS no OSG y de su influencia en la reducción de la capacidad del satélite;
- f) que el *resuelve* 3 de la Resolución 229 (CMR-03) dice que es necesario que las administraciones puedan verificar si los niveles de dfp combinada indicados en la Recomendación UIT-R S.1426 han sido rebasados o pueden rebasarse en el futuro, para que una futura conferencia competente pueda adoptar las medidas apropiadas;

* En esta Recomendación, WAS/RLAN se refiere a sistema de acceso inalámbrico/redes radioeléctricas de área local o cualquier otro dispositivo fijo o transportable que ofrece conectividad de red local (por ejemplo, RLAN de alta prestación (HIPERLAN), U-NII, red de área local inalámbrica (WLAN) u otros; véanse también las Recomendaciones UIT-R F.1244 y UIT-R M.1450.

** Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 8 y 9 de Radiocomunicaciones para información.

- g) que se necesita un método para evaluar la interferencia causada por emisiones WAS/RLAN a los receptores de enlaces de conexión de satélites del SMS no OSG, así como un método para procesar las mediciones;
- h) que la evolución de las WAS/RLAN en el mercado se producirá de forma independiente a escala nacional o regional;
- j) que existe la necesidad de proteger los enlaces de conexión SMS no OSG de la interferencia producida por las WAS/RLAN,

observando

- a) que la banda 5 150-5 250 MHz está sujeta a interferencias procedentes de otras fuentes (incluidas las emisiones no deseadas de los transmisores en bandas próximas) causadas a los enlaces de conexión del SMS no OSG, además de las procedentes de transmisores WAS/RLAN;
- b) que las metodologías indicadas en los Anexos 1, 2 y 3 sólo se aplican a constelaciones de satélites no OSG con un gran número de satélites suficientemente distantes entre sí,

reconociendo

- a) que la banda 5 150-5 250 MHz está atribuida en todo el mundo al SFS (Tierra-espacio) para su utilización conjunta con los enlaces de conexión del SMS no OSG a título igualmente primario sin restricción en el tiempo, según el número 5.447A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- b) que la banda 5 150-5 250 MHz también está atribuida en todo el mundo, a título primario, al servicio de radionavegación aeronáutica (SRNA);
- c) que la banda 5 150-5 216 MHz también está atribuida a los enlaces de conexión del servicio de radiodeterminación por satélite (espacio-Tierra) de conformidad con el número 5.446 del RR;
- d) que la banda 5 150-5 216 MHz, con arreglo al número 5.447B del RR y a las disposiciones del número 9.11A del RR, también está atribuida al servicio fijo por satélite (SFS) (espacio-Tierra) para su utilización por los enlaces de conexión del SMS no OSG en todo el mundo, a título primario;
- e) que la banda 5 150-5 250 MHz ha sido atribuida al servicio móvil, de conformidad con el número 5.446A, el número 5.446B del RR y la Resolución 229 (CMR-03);
- f) que en algunos países la banda 5 150-5 250 MHz está atribuida, mediante el número 5.447 del RR, al servicio móvil y está sujeta a coordinación en virtud de lo dispuesto en el número 9.21 del RR;
- g) que la Resolución 229 (CMR-03) limita la transmisión de WAS/RLAN a las transmisiones en interiores,

recomienda

- 1 que la evaluación de la interferencia proveniente de emisiones WAS/RLAN en receptores de los enlaces de conexión de satélites del SMS no OSG, que funcionan en la banda 5 150-5 250 MHz, se base en el incremento ($\Delta T_{satélite}$) de la temperatura de ruido del satélite ($T_{satélite}$);
- 2 que, para asegurar la adecuada protección de los enlaces de conexión del SMS no OSG frente a las emisiones WAS/RLAN en la banda 5 150-5 250 MHz, la $\Delta T_{satélite}/T_{satélite}$ combinada no supere el 3%;
- 3 que si se mide la interferencia causada por las emisiones WAS/RLAN a un receptor de enlace de conexión de un satélite del SMS no OSG, el sistema interferido de enlace de conexión

no OSG utilice a tal efecto la metodología descrita en el Anexo 2 ó 3 a la presente Recomendación. El Anexo 1 contiene información de referencia respecto a dichas metodologías;

4 que las siguientes Notas se consideran parte de la presente Recomendación.

NOTA 1 – También se debe considerar la influencia de la interferencia combinada a largo plazo debida a las WAS/RLAN en los enlaces de conexión SMS no OSG, en términos de reducción de la capacidad del satélite SMS no OSG, junto con la metodología propuesta en los *recomienda* anteriores. Su objeto es asegurar que la potencia de interferencia recibida en los satélites del SMS no OSG debe producir una reducción de la capacidad disponible en el satélite inferior o igual al 1%. Este valor puede requerir estudios ulteriores.

NOTA 2 – El término «combinado» significa que la interferencia al haz receptor del satélite debe calcularse a partir de todos los dispositivos WAS/RLAN situados en el campo de visión del haz receptor del enlace de conexión del satélite no OSG.

NOTA 3 – En los Anexos 2 y 3 a la presente Recomendación se describen dos implementaciones alternativas de la carga útil de medición a bordo de un satélite, para determinar el ruido y la interferencia combinados que se recibirían en un satélite en funcionamiento del mismo tipo que los demás satélites de la constelación. Además, los Anexos describen asimismo los métodos respectivos para procesar, en tierra, las mediciones realizadas en el satélite.

NOTA 4 – La metodologías descritas en los Anexos 2 y 3 pueden utilizarse para medir la interferencia combinada causada al receptor de la estación espacial del enlace de conexión de cualquier sistema de satélites del SMS no OSG. Para dar resultados explícitos, se utilizan los parámetros técnicos de la constelación LEO-D descritos en la Recomendación UIT-R M.1184. Es posible que se requieran estudios ulteriores para determinar qué parte de la interferencia combinada procede de los transmisores WAS/RLAN. Dichos estudios se realizarán en condiciones óptimas cuando estén disponibles los resultados de las mediciones obtenidas utilizando una de las metodologías descritas en los Anexos 2 y 3.

Anexo 1

Medición del ruido y la interferencia combinados causados al receptor de la estación espacial del enlace de conexión Tierra-espacio de 5 GHz de un sistema de satélites del SMS LEO-D

1 Introducción

En el presente Anexo se describe cómo se mide la interferencia combinada que aparece en la antena de recepción del receptor de la estación espacial de un enlace de conexión Tierra-espacio de 5 GHz de un sistema de satélites del SMS no OSG. Dado que el objetivo general del Anexo 2 ó 3 es el poder estimar la magnitud de la interferencia RLAN combinada con gran exactitud, este Anexo describe en términos generales cómo se puede medir la potencia total recibida en la antena del satélite con un error cuadrático medio de aproximadamente 0,03% del ruido térmico y de fondo en el enlace ascendente.

2 El receptor de radiómetro de Dicke

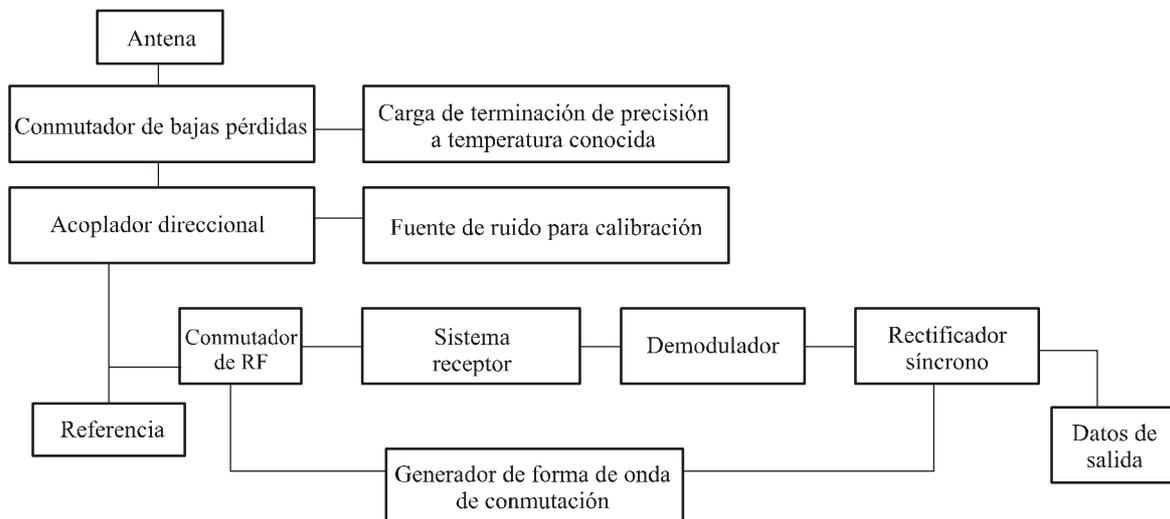
Los radioastrónomos y otras comunidades científicas vienen usando desde hace décadas el receptor de radiómetro de Dicke para medir niveles muy bajos de ruido gaussiano en un entorno de niveles mucho más elevados de ruido gaussiano en el propio receptor. La aplicación que aquí se considera es casi idéntica, ya que la señal de interferencia combinada procedente de un gran número de dispositivos transmisores RLAN tendría características estocásticas gaussianas, independientemente de las características detalladas de una transmisión individual. Análogamente, las características estocásticas del ruido de fondo del receptor serían gaussianas en las aplicaciones del servicio de exploración de la Tierra por satélite (pasivo), del servicio de investigación espacial (pasivo), del servicio de radioastronomía y la aplicación de las mediciones de la interferencia WAS/RLAN que se describen en la presente Recomendación.

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de un radiómetro de Dicke genérico. Por lo general el radiómetro de Dicke se estructura en torno al bloque del «sistema receptor», que es de hecho el receptor del enlace de conexión de 5 GHz del SMS antes de agregarle los bloques del radiómetro de Dicke. Los bloques adicionales se añaden para que el receptor pueda:

- integrar la envolvente detectada de la señal gaussiana de banda amplia en las etapas de RF y de FI del propio receptor del satélite durante un tiempo de medición τ ;
- calibrar sus mediciones de modo tal que las variaciones de ganancia del receptor en el tiempo no afecten la exactitud de la medición y que las estimaciones del nivel de ruido que se está midiendo no incluyan el ruido interno del receptor.

Para realizar estas tareas se utilizan dos fuentes de ruido de referencia, que se comparan con la señal gaussiana de entrada a medir. Una de estas señales de referencia es comparable con el ruido en el receptor; la otra es comparable con la señal externa que se mide.

FIGURA 1
Radiómetro de Dicke genérico



1427-01

3 Funcionamiento del radiómetro de Dicke

El radiómetro de Dicke está diseñado para conmutar rápidamente entre la antena y una carga de terminación de referencia o una fuente de ruido, a una velocidad superior a la de la variación de ganancia más rápida. Las fluctuaciones de ganancia tienen normalmente un espectro que llega al menos a 5 Hz, por lo cual el conmutador de RF debe conmutar entre la antena y la referencia a un

ritmo no inferior a unos 30 Hz. En tal caso, las variaciones de la ganancia sólo actúan sobre la diferencia entre las entradas. Por lo tanto, lo ideal es que la temperatura de referencia sea lo más cercana posible a la temperatura de la antena. Una antena orientada hacia al suelo tendrá siempre una temperatura de antena de al menos 150 K aproximadamente (si el haz de la antena no está invadido completamente por el suelo; de ser así, es más probable un valor de unos 250 K). Por lo tanto, una carga adaptada o una fuente de ruido serían una referencia práctica. En efecto, se podría excitar un atenuador de diodo PIN para adaptar las entradas al receptor, de modo que éste se encuentre siempre equilibrado.

Una fuente de ruido de calibración añade al receptor una determinada cantidad de ruido, incrementando la entrada en un valor conocido. La conmutación a una carga adaptada es un complemento útil al proceso de calibración, pues permite calibrar el nivel de ruido de base. Sin embargo, cuando se conecta la carga adaptada no lo estará la antena, razón por la cual cambiará el nivel de ruido de base.

La salida del radiómetro de Dicke es una medición objetiva del nivel de potencia de la señal recibida por la antena de 5 GHz del satélite en la anchura de banda B del receptor. El error r.m.s. de dicha medición es:

$$\Delta T_{error} = T_{sis}/(B\tau)^{0,5} \quad (1)$$

siendo:

- ΔT_{error} : error r.m.s. de la medición de la temperatura de ruido de la señal aleatoria a la salida de la antena
- T_{sis} : temperatura de ruido del ruido total del receptor, consistente en la suma de la temperatura de ruido del receptor del satélite y la temperatura de ruido de la señal recibida, según se describe en la Recomendación UIT-R RS.515
- B : anchura de banda del receptor (Hz)
- τ : tiempo de integración del receptor (s)

Si el nivel de ruido que se está midiendo es el 3% del ruido total en el receptor y el error R.M.S. en la medición de dicha cantidad debe ser del orden del 1% de la medición, la magnitud $(B\tau)^{-0,5}$ debe ser del orden de 3×10^{-4} .

4 Radiómetros adecuados para su utilización en el sistema LEO-D

Es posible simplificar el diseño de los radiómetros usados en el sistema LEO-D si la medición puede utilizar como canal de referencia la medición del ruido de espectro de la banda de referencia cercana inmediatamente por debajo de 5 150 MHz, y emplear estas mediciones para estimar la interferencia por encima de 5 150 MHz. Aprovechando esta posibilidad puede simplificarse el radiómetro en órbita necesario para medir con exactitud la interferencia combinada causada en el receptor de satélite en la banda 5 150-5 250 MHz, por comparación con el radiómetro de Dicke para uso general de la Fig. 1. Además, esta modificación de las mediciones realizadas por el radiómetro modifica el procesamiento de datos en tierra de las mediciones realizadas en órbita a fin de efectuar estas mediciones de la interferencia combinada.

Esta simplificación del radiómetro utilizado en el satélite LEO-D se basa en las siguientes cinco observaciones:

- La Recomendación UIT-R S.1427 no impone un límite a la interferencia combinada I de los dispositivos WAS/RLAN como tal. En lugar de ello, limita la relación entre dicha interferencia y el nivel de ruido de base N , relación I/N , equivalente al cociente $\Delta T/T$ en el receptor del satélite, que no debe superar el 3%.

- En el sistema LEO-D que funciona entre 5 091 MHz y 5 250 MHz hay 8 canales de RF, cada uno con una anchura de 16,5 MHz. Los canales 1 y 2 funcionan completamente por debajo de 5 150 MHz, que es la frecuencia más baja a la cual trabajan los dispositivos WAS/RLAN. El canal 3 funciona en el límite de 5 150 MHz, y los canales 4 a 8 inclusive funcionan por encima de 5 150 MHz, en un entorno en el cual pueden existir interferencias WAS/RLAN.
- El ruido de fondo N no cambia en forma apreciable en la gama de frecuencias de 5 091 MHz a 5 250 MHz, aunque puede que existan ligeras variaciones.
- Todos los cambios de variación lenta en el tiempo en N son comunes al ruido de fondo N en los dos canales inferiores de RF y en los cinco canales superiores. Puede que no se sepan las razones de esta variación de N en el tiempo, pero dicha variación está englobada en los cambios del ruido en los dos canales inferiores de RF.
- Puede que existan variaciones más rápidas en las ganancias de los componentes del satélite con frecuencias de hasta 10 Hz, y las mismas deben ser tomadas en cuenta al formular observaciones que podrían llevar a estimaciones de la interferencia I .

Al determinar cómo utilizar en forma eficaz las señales de referencia en los canales 1 y 2 para calcular la relación I/N en los canales 4, 5, 6, 7 y 8, se observa que la «calibración» del radiómetro podría realizarse mediante mediciones en los canales 1 y 2. Otra ventaja de este enfoque es que todas las variaciones en el tiempo de los niveles de ruido de fondo en los distintos canales de 16,5 MHz de ancho debidas a la ubicación variable del satélite y al instante en que se realizan las mediciones, están englobadas en las mediciones simultáneas del nivel de ruido en los canales 1 y 2, sujetas a las pequeñas variaciones del nivel de ruido de fondo en la banda de frecuencias 5 091-5 250 MHz.

Los dos radiómetros descritos en los Anexos 2 y 3 respectivamente, toman en consideración las observaciones previamente mencionadas. En estos dos radiómetros las señales de «calibración» pueden ser los niveles de ruido en los canales 1 y 2, ya que las variaciones en los niveles de ruido en los canales 4 a 8 inclusive están totalmente englobadas en los niveles de ruido en los canales 1 y 2. Debido a ello, la fuente de ruido de calibración de 550 K y la carga de terminación de precisión de 16,5 K de la Fig. 1 son redundantes, y por lo tanto pueden eliminarse, y de hecho se eliminan, de los diagramas de bloques de los dos radiómetros de satélite descritos en los Anexos 2 y 3.

Anexo 2

Radiómetro con conmutador en línea para medir el ruido y la interferencia combinados causados en el receptor de la estación espacial del enlace de conexión Tierra-espacio de 5 GHz de un sistema de satélites del SMS LEO-D

1 Introducción

En este Anexo se describe una de dos construcciones posibles de un radiómetro que se utilizará en la estación espacial LEO-D para medir el ruido y la interferencia combinados en sus canales 4 a 8 inclusive. Se describe además el procesamiento de dichas mediciones en tierra para determinar la relación I/N debida a la interferencia RLAN.

2 El radiómetro a bordo de un vehículo espacial con un conmutador en línea

El radiómetro descrito utiliza mediciones del ruido térmico en los canales 1 y 2, y no mediciones de las dos fuentes de ruido de calibración internas que se emplean en el radiómetro de Dicke genérico presentado en la Fig. 1. Esto es posible porque los canales 1 y 2 de la red LEO-D L funcionan por debajo de 5 150 MHz y, por lo tanto, no sufren interferencia originada en las transmisiones RLAN en la banda 5 150-5 250 MHz.

Este radiómetro es distinto del que aparece en la Fig. 1 porque:

- no tiene la fuente de ruido de calibración, la carga de precisión, ni el acoplador direccional o el conmutador de bajas pérdidas que aparecen en la Fig. 1;
- contiene un demodulador y un detector síncrono en cada uno de los ocho canales de 16,5 MHz de anchura a 5 GHz. La salida de los ocho detectores síncronos se convierte a una representación digital de las salidas del detector síncrono, que se transmite a una estación terrena cada ξ ms. El valor nominal de ξ es 25 ms, pero podría acortarse para reducir el efecto de las variaciones aleatorias en los resultados medidos debidas a la conversión de las mediciones analógicas en el satélite a un formato digital antes de ser transmitidas a tierra.

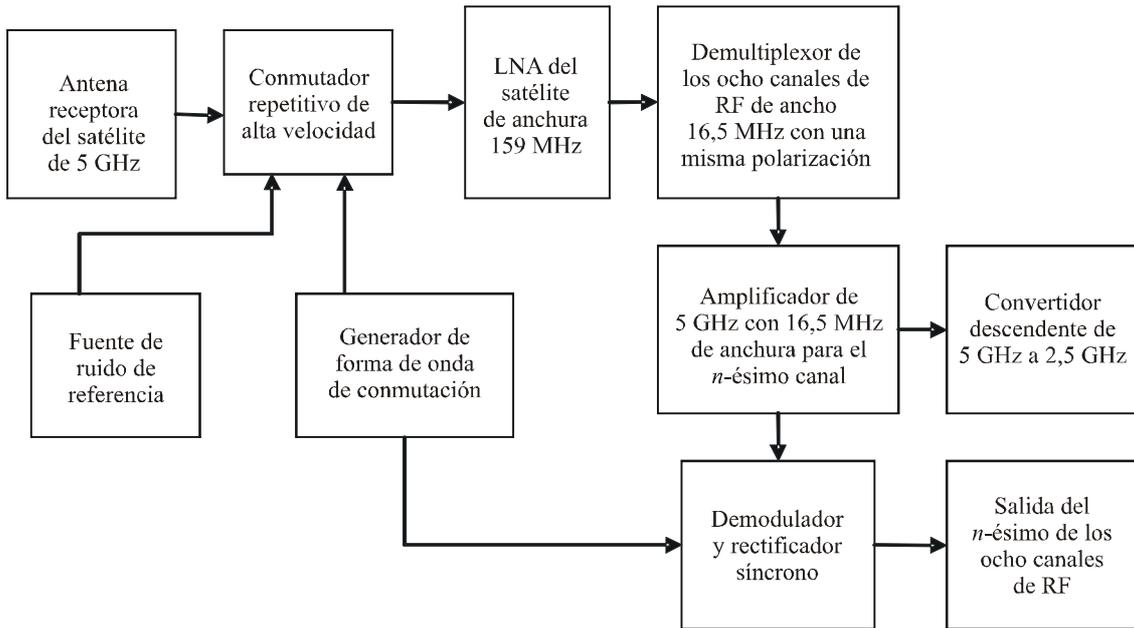
En la Fig. 2 aparece un diagrama de este radiómetro. Además del receptor de 5 GHz de la red LEO-D operacional, la carga útil de satélite de 5 GHz incluye:

- Un conmutador repetitivo de alta velocidad en línea, que conmuta entre la antena del satélite y una fuente de ruido de referencia cada ξ ms.
- Una fuente de ruido de referencia estable, de 200 K.
- Un demodulador y un rectificador síncrono en cada uno de los ocho canales de 16,5 MHz de anchura de polarización única del sistema LEO-D.
- Un conversor *A/D* de la señal de cada una de las ocho salidas de los detectores síncronos a una representación digital de η bits de cada una de las mediciones. El valor nominal de η es 12, pero puede modificarse al diseñar detalladamente el radiómetro.
- Un generador de forma de onda de conmutación que controla la temporización de los detectores síncronos y el conmutador repetitivo.
- Los medios para transmitir las ocho señales digitales a tierra, a través del enlace espacio-Tierra de 2,5 GHz o de 7 GHz de la red de satélites LEO-D.

El radiómetro mide simultáneamente las ocho salidas de los rectificadores $\{S_1, S_2, \dots, S_7, S_8\}$ en un intervalo de ξ ms, durante el cual el conmutador en línea conecta el receptor de satélite de 5 GHz a su antena receptora con polarización circular dextrógira o a su antena receptora con polarización circular levógira. En los siguientes ξ ms el radiómetro mide simultáneamente las ocho salidas de los rectificadores $\{R_1, R_2, \dots, R_7, R_8\}$ mientras el conmutador en línea conecta el receptor de satélite de 5 GHz a la fuente de ruido de referencia. Los resultados de las 16 mediciones se convierten a formato digital y se transmiten a tierra para ulterior procesamiento. Este proceso se repite cada 2ξ ms. La temporización y la activación de cada uno de los componentes del radiómetro están controladas por el generador de control de conmutación.

FIGURA 2

Radiómetro con fuente de ruido de referencia conmutada repetitivamente



1427-02

3 Procesamiento en tierra de la salida del radiómetro con un conmutador en línea

A continuación se describen los cálculos en tiempo real realizados en tierra para convertir los conjuntos de mediciones $\{S_1, S_2, \dots, S_7, S_8\}$ y $\{R_1, R_2, \dots, R_7, R_8\}$ que se transmiten desde el satélite cada ξ ms a relaciones de interferencia a ruido térmico, I/N , de los canales 4, 5, 6, 7 y 8. Cabe señalar que los términos $\{S_i\}$, $\{R_i\}$ y $\{(I/N)_i\}$ son niveles de potencia y relaciones; las ecuaciones que siguen no incluyen mediciones en dB. Los 16 valores $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$, y los cinco resultados $\{(I/N)_i\}$ que se generan cada 2ξ ms se pueden también almacenar para el ulterior procesamiento de datos. Es probable que como parte de este procesamiento, se promedien en un filtro digital los resultados de $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$ correspondientes a un periodo ampliado de un minuto o más, con el único límite de la variación de la interferencia real observada a medida que cambia la zona de servicio del satélite. Haciendo este promedio se reducirían los errores aleatorios de los resultados de $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$, incluyendo el ruido de cuantificación generado por el conversor A/D en el satélite, por un factor equivalente a la raíz cuadrada del número de intervalos 2ξ sobre los cuales se realiza el promedio.

El primer paso de este cálculo realizado en tierra es hallar las muestras «normalizadas» de señal $\{S_i\}$ dividiendo las señales por la señal de referencia correspondiente del conjunto $\{R_i\}$ para así obtener el conjunto $\{X_i\}$, siendo:

$$X_i = S_i/R_i \quad (2)$$

El procesamiento de las mediciones del radiómetro incluye dividir la magnitud de la señal recibida por la señal de referencia, en lugar de restar la magnitud de la señal de referencia de la magnitud de la señal recibida. Sin embargo, lo que se ha eliminado en la ecuación (2) son las variaciones de la ganancia del receptor del satélite, y las diferencias en la ganancia entre un canal y otro. El radiómetro genera estimaciones objetivas de los valores correctos de $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$. La componente aleatoria o la varianza de X_i son iguales a la suma de las varianzas de S_i y de R_i porque, al igual que antes, las componentes aleatorias de las dos son estadísticamente independientes.

La siguiente tarea de procesamiento de datos es estimar el ruido térmico, o más precisamente el ruido térmico «normalizado», en cada uno de los ocho canales. Se supone que X_1 y X_2 son estimaciones normalizadas solamente del ruido térmico, pero se deberá también suponer que los niveles de ruido térmico en los diferentes canales pueden ser función de la frecuencia. El valor esperado de esta variación es pequeño, por lo cual puede representarse por un modelo de variación lineal con la frecuencia portadora como parámetro variable. En tal caso, se define la componente Δ de ruido térmico variable como:

$$\Delta = X_2 - X_1 \quad (3)$$

Esta tasa de variación del ruido térmico en tiempo real y función de la frecuencia en los distintos canales se puede utilizar para estimar las componentes de ruido térmico normalizadas de $\{X_4, X_5, X_6, X_7, X_8\}$ como

$$N_i = X_1 + (i - 1) \Delta \quad (4)$$

En la ecuación (4) se supone que la tasa de variación Δ de la componente de ruido térmico es igual para todos los canales adyacentes desde el canal 4 hasta el 8. Una vez estimado el ruido N_i en los canales 4 a 8, se puede determinar la interferencia I_i en el i -ésimo canal como

$$I_i = X_i - N_i \quad \text{para } i = 4, 5, 6, 7 \text{ u } 8 \quad (5)$$

La etiqueta de «normalizado» en las estimaciones $\{X_i\}$ y $\{N_i\}$ se puede eliminar al calcular las relaciones interferencia/ruido $\{(I/N)_i; i = 4, 5, 6, 7 \text{ y } 8\}$ porque está presente la misma normalización tanto en $\{X_i\}$ y $\{N_i\}$. Una vez aclarado esto,

$$(I/N)_i = I_i/N_i \quad \text{para } i = 4, 5, 6, 7 \text{ u } 8 \quad (6)$$

Cabe anotar nuevamente que los términos $\{(I/N)_i; i = 4, 5, 6, 7 \text{ y } 8\}$ son relaciones de potencias, y no están en dB.

Estas cinco ecuaciones se pueden combinar para formar una única ecuación que expresa la relación interferencia/ruido $(I/N)_i$ en función de los términos $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$ como sigue:

$$\begin{aligned} (I/N)_i &= \{(S_i/R_i)/\{(i-1)S_2/R_2 - (i-2)S_1/R_1\}\} - 1 \\ &= \{X_i/\{(i-1)X_2 - (i-2)X_1\}\} - 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Estas seis ecuaciones se resuelven en tierra cada 2ξ ms a fin de determinar los niveles de interferencia combinados en los canales 4 a 8 del receptor de 5 GHz del satélite LEO-D.

4 Error en las mediciones de $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$

El radiómetro realiza estimaciones objetivas de los niveles de potencia $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$ del ruido gaussiano en las salidas de los ocho receptores. Estos niveles de potencia son proporcionales a sus respectivas temperaturas de ruido Tx y pueden expresarse en función de las mismas. Tal como se indica en la ecuación (1), el error r.m.s. ΔT_{error} en estas mediciones de Tx, debido al tiempo finito de integración de la salida aleatoria del radiómetro, es:

$$\Delta T_{error} = T_x / (B \xi)^{0,5} \quad (8)$$

Asimismo, la estimación objetiva de T_x adolece de un error multiplicativo debido a su cuantificación en un conversor A/D a un formato digital que puede transmitirse a tierra para su posterior procesamiento. Si el conversor A/D expresa la magnitud analógica T_x como un número binario de η cifras, el error r.m.s. de la representación digital de la magnitud T_x es:

$$T_x / 2^{(\eta-0,5)} \quad (9)$$

donde el valor esperado de T_x es la mitad del máximo valor de la entrada al conversor A/D , y el error r.m.s. de cuantificación es 0,707 veces el menor nivel de cuantificación del conversor A/D .

Cuando se calcula el error r.m.s. en los resultados $\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$ tal como se expresan en la ecuación (7), hay lugares en los cuales las dos cantidades aleatorias se suman, hay lugares en los cuales las dos cantidades aleatorias se multiplican entre sí y hay lugares en los cuales una cantidad aleatoria se divide por la otra. Si los dos términos son estadísticamente independientes entre sí, y si las varianzas de las componentes aleatorias de los términos son pequeñas en comparación con su valor esperado, la varianza del resultado es aproximadamente igual a la suma de las varianzas de las dos cantidades de entrada. La varianza del término $A*X$, donde A es una constante y X es una variable aleatoria, es A^2 veces la varianza de X .

Las expresiones de los términos $\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$ serían muy complejas si los valores de los parámetros ξ y η se mantuvieran en el análisis como variables paramétricas. Para evitar dicha complejidad se utilizan los valores por defecto de 25 ms para ξ y 12 para η en el posterior análisis de los errores r.m.s. en los términos $\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$. Se supondrá además aquí y *sólo para esta estimación de los errores r.m.s.* que el ruido gaussiano de fondo procedente de una Tierra cálida es de aproximadamente 200 K, la misma temperatura que tiene la fuente de ruido de referencia, por lo cual la temperatura del ruido a la entrada del receptor del satélite es aproximadamente 550 K, tanto cuando la antena está conectada al receptor como cuando está conectada la fuente de ruido de referencia.

Con estas hipótesis, el error r.m.s. de cualquiera de los términos $\{S_i\}$ o $\{R_i\}$, según la ecuación (8), es el valor esperado del término, dividido por $(B \xi)^{0,5}$, o $(16,5 \times 10^6 \times 25 \times 10^{-3})^{0,5}$, o 642. El error r.m.s. de cuantificación, de cualquier de los términos $\{S_i\}$ o $\{R_i\}$, según la ecuación (8), es el valor esperado del término dividido por $2^{(12-0,5)}$, o sea 2 896. El error r.m.s. es la raíz de la suma de los cuadrados de los dos términos, los valores esperados multiplicados por 0,00159. Como los valores esperados de los términos $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$ son aproximadamente 550 K, el error r.m.s. en estos términos cuando se utiliza un tiempo de integración de 25 ms y un conversor A/D de 12 bits, es 0,87 K, 5,8% de los 15 K y 3% del ruido térmico a la entrada del receptor.

Estos errores r.m.s. aumentan cuando se realizan los cálculos indicados en la ecuación (7). El error r.m.s. en $\{X_i\}$ es $2^{1/2}$ de los errores en $\{S_i\}$ o $\{R_i\}$, o sea su valor esperado multiplicado por 0,00226. Los errores r.m.s. en $\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$ dependen de los valores de « i », según se indica en la ecuación (7). Estos errores r.m.s., expresados como fracciones de los valores esperados de los términos $\{(I/N)_i\}$, se pueden determinar utilizando la relación

$$\begin{aligned} \text{Var } \{(I/N)_i\} &= \text{Var } (X_i) + (i-1)^2 * \text{Var } (X_2) + (i-2)^2 * \text{Var } (X_1) \\ &= \text{Var } (X_i) * \{1 + (i-1)^2 + (i-2)^2\} \end{aligned} \quad (10)$$

porque las varianzas de todos $\{X_i, i = 1$ a $8\}$ son iguales a $(0,00226)^2$ multiplicado por sus valores esperados, donde $\text{Var } (Z)$ es «la varianza de» una cantidad aleatoria Z . Las varianzas y los errores r.m.s. de $\{(I/N)_i\}$ calculados utilizando (10) se indican en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Valores r.m.s. de las estimaciones de I/N en los canales 4 a 8

Canal	Ponderación	Varianza de $(I/N)_i$	Error r.m.s. de $(I/N)_i$	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ (%)
4	14	0,0000715	0,008456	0,8456
5	26	0,000133	0,011524	1,1523
6	42	0,000215	0,014646	1,46647
7	62	0,000317	0,017795	1,7795
8	86	0,000439	0,020958	2,0958

Estos errores r.m.s. en $\{(I/N)_i, i = 4, \dots, 8\}$ son partes significativas de la máxima interferencia del 3% especificada por la Recomendación. Debe señalarse sin embargo que las estimaciones realizadas aplicando las ecuaciones (1) a (6), proporcionan estimaciones objetivas de los valores $\{(I/N)_i, i = 4, \dots, 8\}$ reales. Los errores r.m.s. del anterior Cuadro 1 resultan de integrar las señales durante no más de 50 ms, que es el doble del tiempo de integración utilizado al calcular la ecuación (8). Si se continúa integrando en tierra, ya sean las estimaciones de $(I/N)_i$ después de aplicar las Ecuaciones (2) a (7) o las observaciones $\{S_i\}$ y $\{R_i\}$, se reducirán los errores r.m.s. que aparecen en el Cuadro 1 en un factor equivalente a la raíz cuadrada del número de muestras utilizadas para obtener el promedio. Por ejemplo, si las secuencias iniciales de estimaciones se promedian durante 10 s, produciendo un promedio de 200 muestras, los errores r.m.s. del Cuadro 1 se reducirían en un factor de 14. El resultado de este promedio hallado en tierra se indica en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Efecto de promediar las estimaciones iniciales de $(I/N)_i$ durante 10 s

Canal	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ antes del promediado en tierra (%)	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ después del promediado en tierra (%)
4	0,8456	0,060
5	1,1523	0,082
6	1,46647	0,1047
7	1,7795	0,1271
8	2,0958	0,1497

Cuando se sigue promediando en tierra durante 10 s las estimaciones iniciales de $(I/N)_i$ basadas en 50 ms de promediado en el satélite, se reducen los errores r.m.s. en las estimaciones en todos los canales a niveles considerablemente inferiores al 3% del valor de $\Delta T_{satélite}/T_{satélite}$ combinada que se indica en la *recomienda 2* de esta Recomendación. Sin embargo, hay un límite para el promediado en tierra que se puede realizar, porque el satélite se desplaza de forma apreciable durante el intervalo de 10 s durante el cual se obtiene el promedio en el anterior ejemplo. Durante un intervalo de 10 s el satélite, a una altitud en órbita circular de 1 414 km y con un periodo de aproximadamente 114 min, se desplazará unos 72 km. Teniendo en cuenta la cantidad total de

interferencia WAS/RLAN visible desde el satélite, el entorno de interferencia no se modificará en forma apreciable mientras el satélite se desplaza esta distancia de 72 km, pero si se utilizan tiempos de integración en tierra significativamente mayores, ello deberá hacerse con precaución.

Anexo 3

Radiómetro con acoplador direccional en línea para medir el ruido y la interferencia combinados causados al receptor de la estación espacial del enlace de conexión Tierra-espacio de 5 GHz de un sistema de satélites del SMS LEO-D

1 Introducción

En este Anexo se describe la segunda de dos construcciones de un radiómetro que se utilizará en la estación espacial LEO-D para medir la interferencia y el ruido combinados en sus canales 4 a 8 inclusive. Se describe además el procesamiento de dichas mediciones en tierra para determinar la relación I/N debida a la interferencia RLAN.

2 El radiómetro espacial

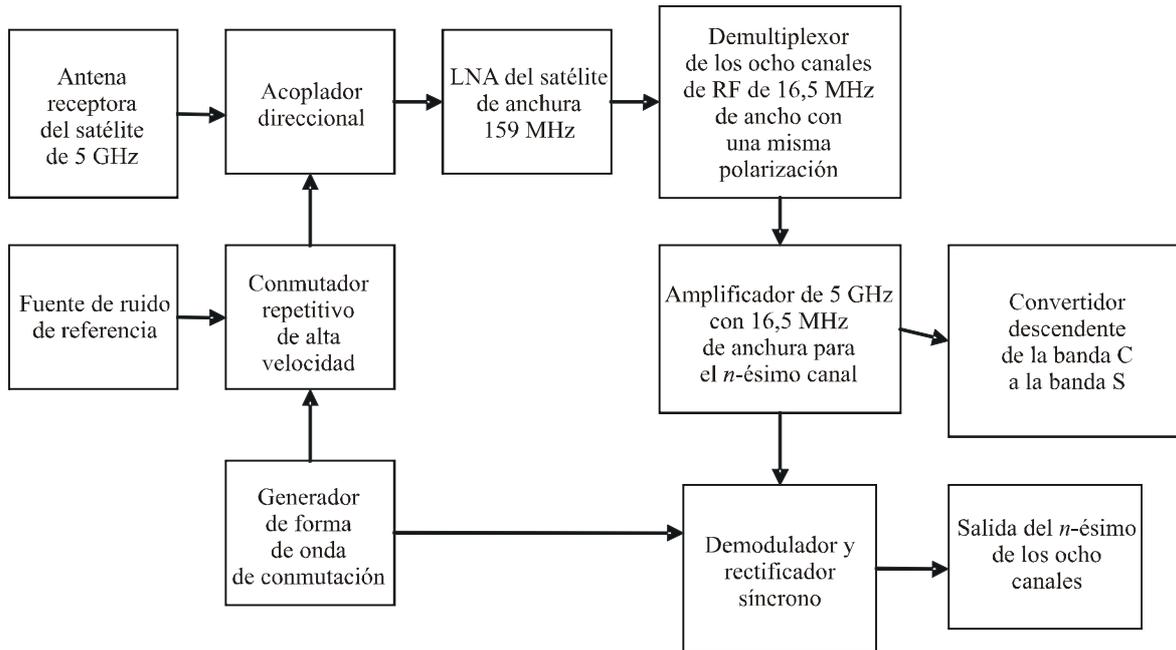
El radiómetro que aquí se analiza es similar al descrito en el Anexo 2, salvo que no tiene un conmutador en línea por lo cual carece del punto único de fallo de la carga útil del enlace de conexión de 5 GHz del satélite del SFS. En lugar de ello, la señal de ruido de referencia se inyecta en la cadena de recepción de 5 GHz del LEO-D a través de un acoplador direccional pasivo. Esto aumenta la fiabilidad de la carga útil enlace de conexión del SFS.

El radiómetro se representa en la Fig. 3. Las únicas adiciones al receptor de 5 GHz del enlace de conexión del SFS de la red LEO-D para este caso son:

- un acoplador direccional situado inmediatamente después de la antena de 5 GHz del satélite y antes del receptor de 5 GHz de una u otra de las dos señales con polarización circular;
- una fuente de ruido de calibración de 200 K, conmutada cada 2ξ ms durante un intervalo de ξ ms al receptor de 5 GHz con anchura de banda de 159 MHz a través del acoplador direccional. La señal procedente de la fuente de ruido tiene una temperatura de ruido efectiva de 200 K tras pasar por el acoplador direccional dirigiéndose al receptor de 5 GHz;
- un demodulador y un rectificador síncrono en cada uno de los ocho canales de 16,5 MHz de anchura, multiplexados en frecuencia en el receptor de anchura de banda de 159 MHz. Cada una de las ocho señales demoduladas, rectificadas e integradas, se muestrea cada ξ ms;
- el generador de forma de onda de conmutación, que controla tanto el interruptor de RF de 5 GHz como los ocho demoduladores/integradores.

En resumen, la magnitud de las 16 señales, cada una de anchura 16,5 MHz, se mide cada 2ξ ms y se transporta a una estación terrena a través de uno de los enlaces espacio-Tierra existentes, de 7 GHz o de 2,5 GHz, de la red de satélites LEO-D.

FIGURA 3

Radiómetro con fuente de ruido para calibración acoplada

1427-03

El radiómetro que aquí se analiza es similar al considerado en el Anexo 2 en el sentido de que el generador de forma de onda de conmutación, los ocho demoduladores/rectificadores/integradores y la trayectoria seguida para transportar las 16 mediciones digitales a tierra cada 2ξ ms, son iguales para ambos receptores. La diferencia entre los dos radiómetros es el método por el cual se introduce la fuente de ruido de referencia: en este caso, es a través de un acoplador direccional en línea, mientras que en el radiómetro descrito en el Anexo 2 se introducía a través de un conmutador en línea que conmuta entre la señal de entrada y la fuente de referencia cada ξ ms.

El radiómetro mide simultáneamente las ocho salidas de los rectificadores $\{S_1, S_2, \dots, S_7, S_8\}$ durante un intervalo de ξ ms, en el transcurso del cual no se inyecta la fuente de ruido de referencia a través del conmutador y el acoplador direccional. En los ξ ms siguientes, se suma la salida de la fuente de ruido de referencia a la entrada del receptor de 5 GHz a través del conmutador cerrado y el acoplador direccional en línea. Durante este intervalo, el radiómetro mide las ocho salidas de los rectificadores $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_7, Y_8\}$. Los resultados de las 16 mediciones se convierten a formato digital y se transmiten a tierra para su ulterior procesamiento. Este proceso se repite cada 2ξ ms. La temporización y la activación de cada una de las componentes del radiómetro se controlan mediante el generador de control de conmutación.

3 Procesamiento de la salida del radiómetro con un acoplador direccional en línea

En este radiómetro el conjunto de ocho mediciones simultáneas $\{S_1, S_2, \dots, S_7, S_8\}$ se realiza durante los mismos ξ ms que las mismas mediciones en el radiómetro con un conmutador en línea (véase el Anexo 2). En los ξ ms siguientes, se cierra el conmutador y se suma el ruido de calibración al ruido térmico del enlace ascendente y a la interferencia RLAN. En este segundo intervalo se realiza el conjunto de ocho mediciones simultáneas $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_7, Y_8\}$. Cada 50 ms se convierten estas 16 mediciones a formato digital y se transportan a tierra, al igual que las mediciones $\{S_1, S_2, \dots, S_7, S_8\}$ y $\{R_1, R_2, \dots, R_7, R_8\}$ según se describió en el Anexo 2. Sin embargo, los 16 números de $\{S_1, S_2, \dots, S_7, S_8\}$ e $\{Y_1, Y_2, \dots, Y_7, Y_8\}$ se procesan en forma diferente.

Una vez más, se mantiene el tiempo de medición del conjunto de 16 mediciones lo suficientemente pequeño, aproximadamente 2ξ ms, para que las ganancias del amplificador del satélite no varíen en forma apreciable. El primer paso en el **procesamiento de datos en tierra** consiste en determinar la magnitud de las señales de calibración en cada uno de los ocho canales. Esto se logra con un simple cálculo:

$$C_i = Y_i - S_i \quad \text{para } i = 4, 5, 6, 7 \text{ u } 8 \quad (11)$$

Estos $\{C_i\}$ son los niveles de la señal de calibración en el lugar en el cual se realizaron las mediciones. Se puede hallar el nivel de la señal C_0 de calibración en el punto en el que se la inyecta en el acoplador direccional (véase la Fig. 3), a partir de mediciones previamente realizadas antes de lanzarse el satélite, y por lo tanto es posible determinar las ganancias G_i en cada uno de los ocho canales durante el periodo de 2ξ ms. Estas ganancias son:

$$G_i = C_i / C_0 \quad \text{para } i = 4, 5, 6, 7 \text{ u } 8 \quad (12)$$

Ahora se pueden comparar los valores del ruido térmico de los canales 1 y 2, o el ruido térmico más la interferencia en los canales 4, 5, 6, 7 y 8, con la salida de la antena de 5 GHz del satélite mediante un cálculo sencillo:

$$Q_i = S_i / G_i \quad \text{para } i = 1, 2, 4, 5, 6, 7 \text{ y } 8 \quad (13)$$

Al igual que en los cálculos para el radiómetro que se describió en el Anexo 2, los niveles de ruido térmico $\{M_i\}$ en los canales 1 y 2 son los indicados por Q_1 y Q_2 en la ecuación (13). Una vez más, se supone que los niveles de ruido de los canales 4 a 8 son:

$$M_i = Q_1 + (i - 1) * \Delta \quad (14)$$

siendo en este caso

$$\Delta = Q_2 - Q_1 \quad (15)$$

A continuación se puede hallar la interferencia combinada I_i en los canales 4 a 8 mediante un simple cálculo:

$$I_i = Q_i - M_i \quad \text{para } i = 4, 5, 6, 7 \text{ y } 8 \quad (16)$$

Estos valores son los niveles de interferencia a los que se hace referencia en el *resuelve* 3 de la Resolución 229. Las relaciones de interferencia/ruido a que se refiere en la Recomendación UIT-R S.1427 se pueden calcular fácilmente como sigue:

$$(I/N)_i = I_i / M_i \quad \text{para } i = 4, 5, 6, 7 \text{ y } 8 \quad (17)$$

$\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$ puede expresarse en función de las mediciones $\{S_i\}$ e $\{Y_i\}$ por medio de la ecuación:

$$(I/N)_i = \{(S_i/C_i)/\{(i-1)(S_2/C_2) - (i-2)(S_1/C_1)\}\} - 1 \quad (18)$$

donde los términos $\{C_i\}$ son los indicados por la ecuación (11) en función de los valores medidos $\{S_i\}$ e $\{Y_i\}$. Cabe señalar que el término C_0 de la ecuación (12) no aparece en la ecuación general (18) o en la ecuación (11), lo cual indica que las estimaciones de $\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$ son independientes de los valores de C_0 .

Una vez más, los sencillos cálculos de las ecuaciones (11) a (18), incluida, podrían haberse realizado en tiempo real en tierra con un ordenador rápido ubicado en el lugar en el que se recibe la señal del enlace descendente de 2,5 GHz o de 7 GHz. Como alternativa, estas mediciones podrían ser almacenadas para calcular luego los promedios y posiblemente realizar un ulterior procesamiento. La ventaja de almacenar las mediciones consiste en que se pueden realizar posteriormente cálculos comparativos en base a observaciones repetidas.

Los intervalos de observación de ξ ms son demasiado breves como para adquirir ganancia de procesamiento $(B\tau)^{0,5}$ suficiente como para realizar estimaciones precisas de las relaciones interferencia/ruido especificadas en la ecuación (17) o la ecuación (18). Sin embargo, los valores obtenidos utilizando el anterior algoritmo son estimaciones objetivas de los valores solicitados, por lo cual se pueden seguir promediando en tierra para lograr un valor de $(B\tau)^{0,5}$ suficientemente grande y así obtener estimaciones con una componente aleatoria lo suficientemente pequeña. Una vez más, el único límite a esta integración consiste en que los parámetros que se miden variarán a medida que el satélite se desplace a lo largo de su trayectoria y, por lo tanto, también lo harán tanto el ruido procedente de tierra como la interferencia combinada RLAN.

4 Error en las mediciones de $\{S_i\}$ e $\{Y_i\}$

Para hallar el r.m.s. en las estimaciones se sigue un proceso muy similar al descrito en el § 4 del Anexo 2. Por ello no se repiten aquí los detalles de los antecedentes comunes a ambos análisis. Cabe señalar que:

- el enfoque de medición proporciona estimaciones objetivas de $\{S_i\}$, $\{Y_i\}$ e $\{(I/N)_i\}$, por lo cual la realización de los promedios reduce cualquier error aleatorio o sistemático en $\{(I/N)_i\}$; y
- las temperaturas de ruido de $\{S_i\}$ son de aproximadamente 550 K, pero cuando se suma la fuente de ruido de referencia a la entrada del receptor, las temperaturas de ruido de $\{Y_i\}$ alcanzan unos 750 K. Este hecho se tiene en cuenta al determinar las estimaciones de $\{(I/N)_i\}$ mediante la ecuación (11), pero también debe tenerse en cuenta aquí al calcular los errores r.m.s. de $\{(I/N)_i\}$.

Al igual que en el § 4 del Anexo 2, se halla el error r.m.s. en los términos $\{(I/N)_i\}$ para el caso en que el tiempo de integración ξ en el satélite es de 25 ms, y el número de bits η a la salida del convertidor A/D es 12. Los errores r.m.s. debidos a la rectificación y la integración de las variables aleatorias $\{S_i\}$ e $\{Y_i\}$ se indican en la ecuación (8), y los errores r.m.s. debidos a la cuantificación son los que se especifican en la ecuación (9).

Al igual que en la obtención del error r.m.s. de los términos $\{S_i\}$ o $\{R_i\}$ en el Anexo 2, los errores r.m.s. de $\{S_i\}$ e $\{Y_i\}$ son aquí los indicados por las ecuaciones (8) y (9). Los errores r.m.s. debidos a rectificación e integración son los valores esperados de los términos, divididos por $(B\xi)^{0,5}$, o $(16,5 \times 10^6 \times 25 \times 10^{-3})^{0,5}$, o 642. El error r.m.s. de cuantificación en los términos $\{S_i\}$ o $\{Y_i\}$ es el valor esperado del término, dividido por $2^{(12-0,5)}$ ó 2 896. El error r.m.s. tanto en $\{S_i\}$ o $\{Y_i\}$ es la raíz de la suma de los cuadrados de estos dos términos, los valores esperados multiplicados por 0,00159. Los valores esperados de los términos $\{S_i\}$ son aproximadamente 550 K, por lo cual el error r.m.s. en estos términos cuando se utiliza un tiempo de integración de 25 ms y un conversor A/D de 12 bits es 0,87 K. Los valores esperados de los términos $\{Y_i\}$ son aproximadamente 750 K, por consiguiente el error r.m.s. en estos términos es 1,19 K.

Los errores r.m.s. de los términos $\{C_i\}$ son la raíz de la suma de los cuadrados de los errores r.m.s. de los S_i e Y_i correspondientes, según lo expresa la ecuación (11). Estos errores r.m.s. de los términos $\{C_i\}$ tras la integración y la cuantificación en el satélite son de 1,474 K o 0,00737 de su valor esperado de aproximadamente 200 K. Los errores r.m.s. de los términos $\{S_i/C_i\}$ o $\{1/\{(Y_i/S_i) - 1\}\}^{-1}$ de la ecuación (18) son igualmente 0,00737 veces sus valores esperados.

Los errores r.m.s. de $\{(I/N)_i, i = 4, 5, 6, 7, 8\}$ son función del valor de « i », según se indica en la ecuación (18). Los valores de estos errores r.m.s., como fracciones de los valores esperados de los términos $\{(I/N)_i\}$, se pueden determinar mediante la relación:

$$\begin{aligned} \text{Var } \{(I/N)_i\} &= \text{Var } (Z_i) + (i-1)^2 * \text{Var } (Z_2) + (i-2)^2 * \text{Var } (Z_1) \\ &= \text{Var } (Z_i) * \{1 + (i-1)^2 + (i-2)^2\} \end{aligned} \quad (19)$$

donde Z_i toma un valor idéntico a (S_i/C_i) de la ecuación (18). (Los términos Z_1 y Z_2 son Z_i , con i igual a 1 y a 2 respectivamente.) Obsérvese que (19) tiene la misma forma que (10), aunque los errores r.m.s. multiplicados por 0,00737 en los términos $\{Z_i\}$ de la ecuación (19) son algo mayores que los errores r.m.s. multiplicados por 0,00226 en los términos $\{X_i\}$ de la ecuación (10). Este aumento se debe a que, en el diseño de este radiómetro, el ruido de las fuentes de ruido de referencia se suma y no sustituye al ruido de la antena de entrada del radiómetro descrito en el Anexo 2, y a los cálculos consiguientes necesarios para construir el radiómetro.

Tal como se analiza en el Anexo 2, la varianza de $(I/N)_i$ es función del número del canal i , resultado de la estimación de N_i mediante las ecuaciones (14) y (15).

CUADRO 3

Valores r.m.s. de las estimaciones de los valores de I/N en los canales 4 a 8

Canal	Ponderación	Varianza de $(I/N)_i$	Error r.m.s. de $(I/N)_i$	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ (%)
4	14	0,00076	0,02758	2,75
5	26	0,00141	0,03758	3,75
6	42	0,00228	0,04776	4,78
7	62	0,00337	0,05803	5,80
8	86	0,00467	0,06835	6,83

Estos errores r.m.s. de las estimaciones de $\{(I/N)_i, i = 4, \dots, 8\}$ utilizando el radiómetro descrito en este Anexo, son del mismo orden que el límite de 3% de I/N , por lo cual se necesita seguir promediando en tierra. Tal como se analizó en el § 4 del Anexo 2, promediar los resultados en tierra disminuye el error r.m.s. de los resultados en un factor equivalente a la raíz cuadrada del número de las muestras promediadas. Si las secuencias de estimaciones iniciales se promedian durante 10 s, como se indica en el Anexo 2, produciendo un promedio de 200 muestras, los errores r.m.s. del Cuadro 3 se reducirían en un factor de 14. El resultado de este promedio realizado tierra se indica en el Cuadro 4. En este Cuadro también se muestra el caso de promediación durante 30 s, utilizando 600 muestras para reducir el error r.m.s. por un factor de 25.

CUADRO 4

**Efecto de promediar las estimaciones iniciales de $(I/N)_i$
durante 10 s y durante 30 s**

Canal	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ antes de calcular el promedio en tierra (%)	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ tras 10 s de promediado en tierra (%)	Error r.m.s. porcentual de $(I/N)_i$ tras 30 s de promediado en tierra (%)
4	2,75	0,197	0,110
5	3,75	0,268	0,150
6	4,78	0,341	0,191
7	5,80	0,414	0,232
8	6,83	0,488	0,273

Tal como se indica en el Cuadro 4, los errores r.m.s. de las mediciones objetivas de los valores de $\{(I/N)_i, i = 4, \dots, 8\}$ se pueden reducir en forma significativa promediando en tierra las estimaciones iniciales basadas en promediar las mediciones en el satélite durante 25 ms. Cabe señalar que en 10 s el satélite se desplaza 72 km y en 30 s, 216 km; hay un límite en cuanto al grado de promediación de los resultados en el tiempo, porque la interferencia real vista por el satélite variará a medida que éste se mueve en forma apreciable. Como la antena de LEO-D presenta unas características de ganancia omnidireccionales, puede promediarse en tierra durante 30 s, obteniéndose resultados con unos errores r.m.s. considerablemente inferiores al valor de un 3% de la $\Delta T_{\text{satélite}}/T_{\text{satélite}}$ combinada que se especifica en el *recomienda 2* de esta Recomendación.