

RECOMENDACIÓN UIT-R S.733-1*

**DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN GANANCIA/TEMPERATURA DE RUIDO
DE LAS ESTACIONES TERRENAS QUE FUNCIONAN EN EL
SERVICIO FIJO POR SATÉLITE**

(Cuestión UIT-R 42/4 (1990)**

(1992-1993)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el principal factor de calidad de las estaciones terrenas que funcionan en el servicio fijo por satélite es la relación entre la ganancia de potencia de la antena y la temperatura de ruido del sistema (G/T);
- b) que hay dos métodos utilizados generalmente para la medida de la relación G/T (cada uno con ventajas para las distintas situaciones) y un método para su predicción,

recomienda

1. que para medir la relación G/T un método es la medición de la potencia de ruido procedente de una fuente radioeléctrica estelar por el método expuesto en el anexo 1;
2. que, como método alternativo para medir esta relación, se recurra a la medición de una señal de referencia procedente de un satélite geostacionario, conforme se expone en el anexo 2;
3. que, cuando ninguno de los métodos expuestos sea aplicable, se determine dicha relación midiendo la ganancia de la antena y estimando la temperatura de ruido del sistema;
4. que se consideren las notas siguientes como parte de esta Recomendación:

Nota 1 – La relación G/T de una estación terrena puede verse degradada por diversos factores naturales. En el apéndice 1 a esta Recomendación se examinan los aumentos de valor de la temperatura de ruido de recepción debidos a la atmósfera, la precipitación, la radiación del suelo y fuentes cósmicas.

Nota 2 – En el anexo 3 a la presente Recomendación figuran informaciones sobre la determinación de la relación G/T de las estaciones terrenas que funcionan en frecuencias superiores a 10 GHz y los efectos de diversas fuentes de ruido en la calidad de funcionamiento de esas estaciones terrenas.

Nota 3 – La precisión del método alternativo del § 2 depende de la precisión en la medida de la densidad de flujo de potencia de las emisiones del satélite en la estación terrena de referencia que es del orden de ± 1 dB. En el Volumen I del ex-CCIR (Control de las emisiones radioeléctricas procedentes de estaciones espaciales en estaciones fijas de comprobación) y en la parte 3 de la Publicación 835 de la CEI figura más información respecto a las mediciones de la relación G/T de los sistemas receptores.

ANEXO 1

**Medición de la relación ganancia/temperatura de ruido
con ayuda de fuentes radioeléctricas estelares**

1. Introducción

Conviene establecer un método práctico para medir con gran precisión la relación ganancia/temperatura de ruido (G/T), a fin de poder comparar los valores medidos en las distintas estaciones. En el presente anexo se describe un método que permite medir directamente la relación G/T con ayuda de fuentes radioeléctricas estelares. No obstante, debe señalarse que, en ciertos casos, el método que utiliza fuentes radioeléctricas estelares no resulta práctico (véase el § 5).

* Nueva versión de la Recomendación 733 del CCIR.

** Antiguamente Cuestión 42/4 del CCIR.

2. Método de medida

La relación G/T puede calcularse mediante la fórmula siguiente, una vez medida la relación r de las potencias de ruido a la salida del receptor:

$$\frac{G}{T} = \frac{8 \pi k (r - 1)}{\lambda^2 \Phi(f)} \quad (1)$$

donde:

k : constante de Boltzmann

λ : longitud de onda (m)

$\Phi(f)$: densidad espectral de flujo de radiación de la fuente radioelétrica estelar ($\text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) en la frecuencia f , en el momento de efectuarse la medición

$$r = (P_n + P_{st}) / P_n$$

P_n : potencia de ruido correspondiente a la temperatura de ruido de sistema T

P_{st} : potencia de ruido suplementaria cuando la antena está en alineación exacta con la fuente radioelétrica estelar.

G (ganancia de la antena) y T (temperatura de ruido del sistema) están referidas a la entrada del receptor.

En la ecuación (1) se ha tenido en cuenta que la radiación estelar está generalmente polarizada de manera aleatoria y que sólo se recibe una parte de ella, correspondiente a la polarización de recepción. La densidad espectral de flujo de radiación $\Phi(f)$ se obtiene mediante mediciones radioastronómicas.

Este procedimiento tiene una ventaja fundamental en comparación con el cálculo de la relación G/T a partir de valores de G y T medidos por separado; en efecto, para determinar la relación, en lugar de efectuar dos medidas absolutas, basta con una sola medida relativa.

3. Fuentes radioeléctricas estelares adecuadas

Las fuentes radioeléctricas discretas Casiopea A, Cisne A y Tauro A parecen ser las más adecuadas para medir la relación G/T por las estaciones terrenas. En ciertos casos, no obstante, la densidad de flujo de Cisne A puede resultar insuficiente.

Dada la declinación de estas fuentes radioeléctricas estelares, no todas resultan perfectamente adecuadas para las estaciones terrenas situadas en ciertas latitudes australes.

En el cuadro 1 se indican valores provisionales de la densidad de flujo de las fuentes de ruido mencionadas.

Para mediciones en frecuencias superiores a 10 GHz, puede ser ventajoso emplear las radiaciones provenientes de los planetas, por ejemplo, de Venus, así como de las fuentes radioeléctricas estelares anteriormente mencionadas. Las densidades de flujo de las ondas radioeléctricas provenientes de los planetas aumentan con la frecuencia y su ángulo sólido es muy pequeño, lo que entraña errores de corrección despreciables debidos a la extensión angular. La densidad de flujo $\Phi(f)$ viene expresada por:

$$\Phi(f) = \frac{4 \pi k T_b(f)}{\lambda^2} (1 - \cos \psi) \quad (2)$$

donde:

$T_b(f)$: temperatura de brillo de un planeta (K)

ψ : semidiámetro.

En la ecuación (1) se sustituye el valor de $\Phi(f)$, deducido de la ecuación (2), para obtener el valor de G/T de una estación terrena. El valor de ψ puede encontrarse en el American Ephemeris and Nautical Almanac (US Government Printing Office, Washington DC 20402, Estados Unidos de América). Para el planeta Venus, se supone que los valores de $T_b(f)$ son de unos 580 K y 506 K para 15,5 y 31,6 GHz, respectivamente. Como los valores de $T_b(f)$ se basan en un número limitado de datos de medición en las dos frecuencias mencionadas, y no se han determinado todavía para otras frecuencias, se precisan otros estudios para confirmar y ampliar los resultados que aquí se indican.

CUADRO 1

Densidades de flujo de las fuentes radioeléctricas estelares

| Fuente radioeléctrica | Casiopea A | Tauro A | Cisne A |
|--|--|---|---|
| $\Phi(4)$ Densidad de flujo a 4 GHz ($\text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) | $1\,067 \times 10^{-26}^{(1)}$ | 679×10^{-26} | 483×10^{-26} |
| $\Phi(f)$ Densidad de flujo a f (GHz) | $\Phi(4) \left(\frac{f}{4}\right)^{-0,792^{(1)(2)}}$ | $\Phi(4) \left(\frac{f}{4}\right)^{-0,287^{(2)}}$ | $\Phi(4) \left(\frac{f}{4}\right)^{-1,198^{(3)}}$ |

(1) Valor en el mes de enero de 1965 (véase el § 4.2).

(2) f comprendida entre 1 y 16 GHz. Las fórmulas pueden utilizarse provisionalmente hasta 32 GHz.

(3) f comprendida entre 2 y 16 GHz.

4. Factores de corrección y evaluación de los errores

El valor corregido de la relación G/T viene dado por:

$$(G/T)_c = G/T + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \tag{3}$$

donde:

C_1 : corrección debida a la absorción atmosférica

C_2 : corrección debida a la extensión angular de las fuentes radioeléctricas estelares

C_3 : corrección debida a la variación del flujo con el tiempo

C_4 : corrección debida a la variación del flujo con la frecuencia.

Todos estos factores han de expresarse en decibelios.

El valor de la absorción atmosférica, C_1 , puede estimarse utilizando el § 2.2 de la Recomendación UIT-R PN.676*.

4.1 Extensión angular de las fuentes radioeléctricas estelares

Si la extensión angular de la fuente radioeléctrica estelar es importante comparada con la anchura del haz de la antena, es preciso efectuar una corrección. Esta corrección, C_2 , se indica en la fig. 1.

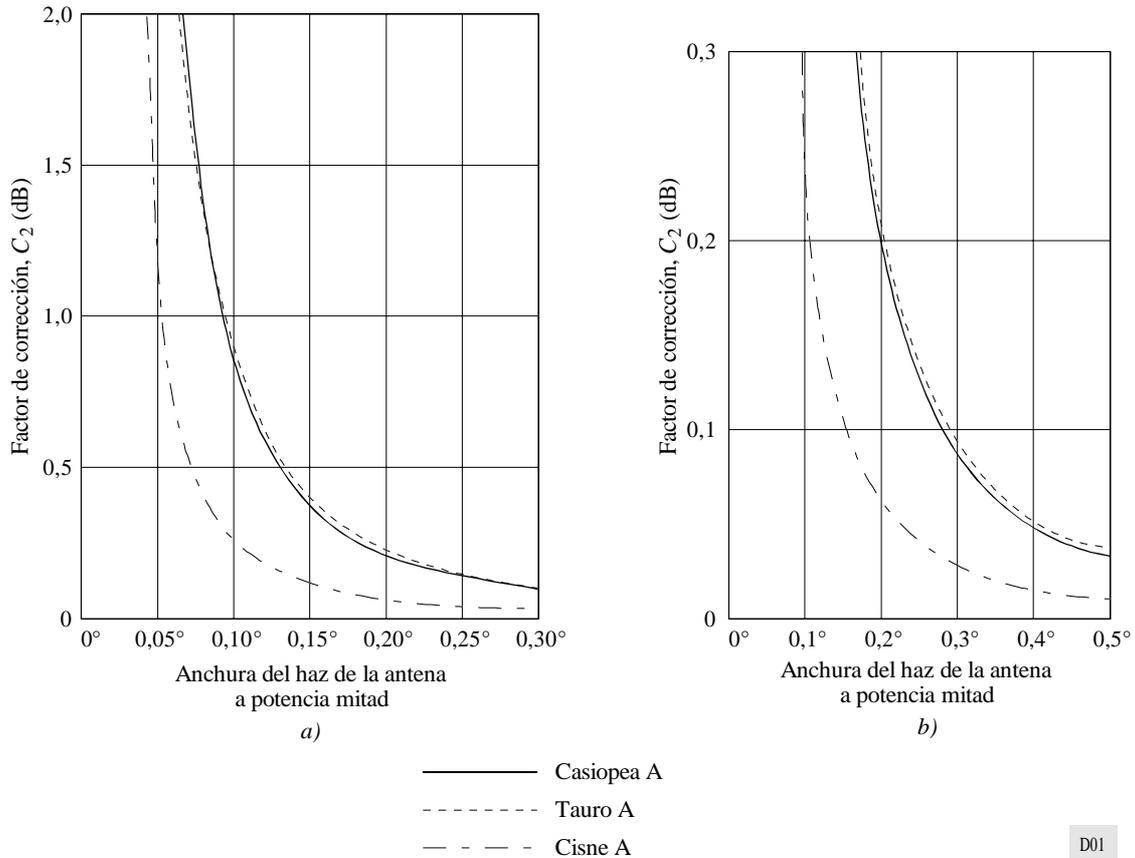
La curva correspondiente a Casiopea A se calcula por convolución numérica del mapa de intensidades de brillo observadas con el diagrama de potencia de la antena, aproximado por una función $(\text{sen } x)/x$. La distribución del brillo de Casiopea A puede representarse adecuadamente mediante un modelo anular, con un diámetro interno de $0,044^\circ$, un diámetro externo de $0,071^\circ$ y una relación de 0,391 entre el brillo interno y el brillo externo. Empleando este modelo puede también calcularse fácilmente el factor de corrección combinando dos modelos de disco para los cuales el factor de corrección puede expresarse por una fórmula convencional. Los resultados obtenidos con ese modelo concuerdan con los de un cálculo detallado efectuado, con un margen de error de 0,06 dB.

Las curvas correspondientes a Tauro A y Cisne A se han obtenido por el mismo método que se utilizó para la curva correspondiente a Casiopea A. Los cálculos se basaron en los mapas de la distribución del brillo de elevada resolución obtenidos por observaciones en 5 GHz para Tauro A, y en 5 GHz para Cisne A.

* Antiguamente Recomendación 676 del CCIR.

FIGURA 1

**Factor de corrección para tener en cuenta la extensión angular
de las fuentes radioeléctricas estelares**



D01

La distribución del brillo medido para Cisne A puede describirse adecuadamente por un modelo de doble columna, cada una de ellas con un diámetro de 0,02 min de arco y separadas angularmente entre sí 2,06 min de arco.

La adopción del modelo anular para Casiopea A y de doble columna para Cisne A permite determinar un factor de corrección suficientemente aproximado. Tales modelos pueden ser también de utilidad para medir la anchura del haz de la antena entre puntos a potencia mitad, mediante la observación de la abertura correspondiente de la curva de deriva a la intensidad mitad. De ello se infiere que puede determinarse el factor de corrección para la extensión angular de fuentes radioeléctricas estelares a partir de la propia curva de deriva observada, sin necesidad de conocer la abertura del haz de la antena entre puntos a potencia mitad.

4.2 Variación del flujo con el tiempo

Casiopea A se caracteriza por una disminución del flujo con el tiempo en función de la frecuencia. Esta corrección puede efectuarse con el término:

$$C_3 = (0,042 - 0,0126 \log f) n \quad \text{dB} \quad (4)$$

donde:

n : número de años transcurridos, con $n = 0$ en enero de 1965

f : frecuencia (GHz).

4.3 Variación del flujo con la frecuencia

La variación del flujo con la frecuencia se indica también en el cuadro 1.

4.4 Efectos de la polarización

Tauro A está polarizado elípticamente, por lo que es preciso utilizar la media de dos lecturas tomadas en dos direcciones ortogonales. Cuando se efectúan las mediciones con ayuda de Casiopea A o Cisne A, estas precauciones no son necesarias.

4.5 Evaluación de los errores

El error relativo máximo viene dado por:

$$\frac{\Delta (G/T)}{G/T} = \frac{\Delta \Phi(f)}{\Phi(f)} + \frac{\Delta r}{r} \times \frac{r}{(r - 1)} \tag{5}$$

en que se tienen en cuenta los errores de $\Phi(f)$ y de r .

El error relativo resultante de la medición de la relación de potencia r se manifiesta netamente cuando el ruido de la fuente radioeléctrica estelar, P_{sr} , no es lo suficientemente elevado, con relación al ruido del sistema, P_n , ya que $r / (r - 1) \rightarrow \infty$ cuando $r = 1$. La precisión de la medición se reduciría considerablemente si r fuera inferior a 2 dB, como sería el caso para los siguientes valores de G/T :

| | |
|------------|-------------------------|
| Casiopea A | 36 dB(K ⁻¹) |
| Taurus A | 37 dB(K ⁻¹) |
| Cygnus A | 39 dB(K ⁻¹) |

Si $r = 2,5$ (4 dB), por ejemplo, r ha de medirse con una precisión de $\pm 0,01$ (0,05 dB) en los casos en que el error no ha de exceder de 0,02 (0,1 dB aproximadamente).

El error introducido por:

$$\frac{\Delta \Phi(f)}{\Phi(f)}$$

es de unos 0,02. Subsiste una incertidumbre suplementaria de $\pm 0,01$ en las correcciones aplicadas. Por consiguiente, el error máximo total para grandes ángulos de elevación es de unos 0,05, es decir $\pm 0,2$ dB aproximadamente.

5. Limitaciones del método de la fuente radioeléctrica estelar

El método descrito en este anexo presenta varios inconvenientes:

- la precisión no es muy buena para las estaciones terrenas pequeñas;
- el método de la fuente radioeléctrica estelar no es muy adecuado para las estaciones del hemisferio meridional en el que las estrellas se ven sólo con ángulos de elevación reducidos o no se ven;
- requiere el seguimiento de estrellas radioeléctricas, lo cual puede no ser posible en las estaciones con capacidad limitada de seguimiento.

APÉNDICE 1

AL ANEXO 1

Contribuciones a la temperatura de ruido de una antena receptora de estación terrena

1. Introducción

La temperatura de ruido de una antena de estación terrena es uno de los factores que contribuyen a la temperatura de ruido de un sistema receptor y puede incluir contribuciones debidas a elementos atmosféricos tales como el vapor de agua, las nubes y las precipitaciones, así como el ruido procedente de fuentes extraterrestres, es decir, el ruido solar y el ruido cósmico. A la temperatura de ruido de la antena de estación terrena pueden contribuir asimismo el terreno y otras características del lugar en que ésta se encuentra ubicada, el ruido artificial y las señales interferentes, así

como el ruido término generado por el sistema receptor que puede estar presente en los terminales de la antena. Muchos de los factores que contribuyen al ruido de la antena, particularmente los que dependen de las condiciones meteorológicas, no son estables, por lo que el ruido resultante mostrará cierta forma de distribución estadística en el tiempo. El debido conocimiento de esos factores y de su variación prevista ayudaría considerablemente a los proyectistas de estaciones terrenas, razón por la cual es necesario recoger información sobre las características de ruido de las antenas de las estaciones terrenas existentes bajo una forma que facilite su interpretación en caso de uso futuro.

El presente apéndice consigna los resultados de las mediciones de la temperatura de ruido de antenas efectuadas a 11,45 GHz, 11,75 GHz, 17,6 GHz, 18,4 GHz, 18,75 GHz y 31,65 GHz. De los resultados medidos a 17,6 GHz y 11,75 GHz se ha derivado la distribución acumulativa de la temperatura y la relación entre la temperatura de ruido con cielo despejado y el ángulo de elevación.

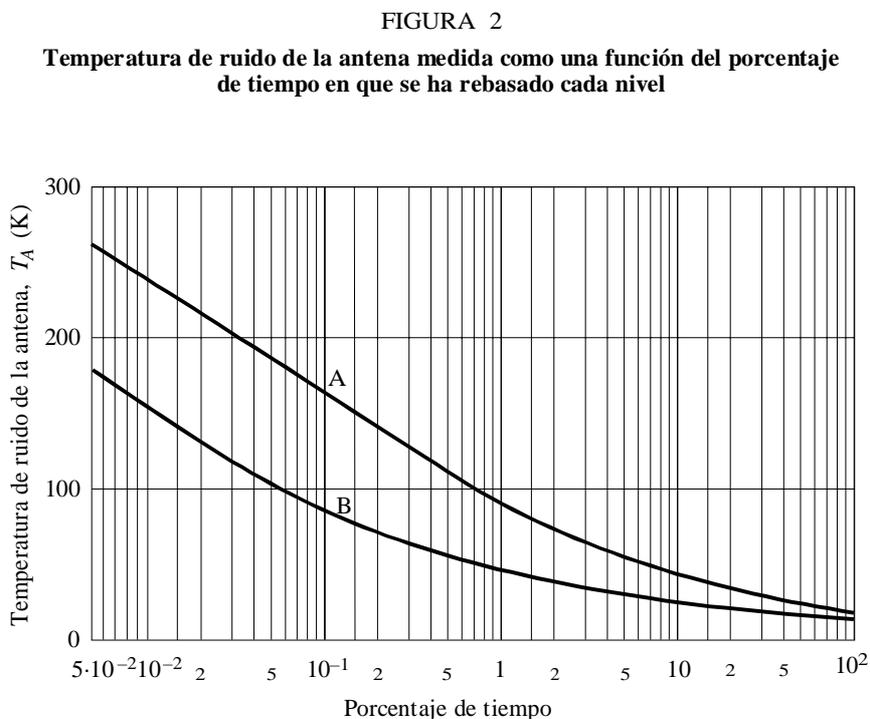
2. Equipo de medición

Se han efectuado mediciones de la temperatura de ruido de la antena en los Países Bajos utilizando una serie de radiómetros equipados con una antena Cassegrain de 10 m alimentada por una bocina corrugada. Estas mediciones se han realizado también en Japón utilizando radiómetros del tipo de adición de ruido y del tipo Dicke equipados con antenas Cassegrain de 13 m y de 10 m y de una antena Cassegrain de 11,5 m con alimentador descentrado.

En la República Federal de Alemania se efectuaron mediciones de ruido con una antena de 18,3 m de diámetro, utilizando el método de factor y, con cielo despejado.

3. Resultados de las mediciones

La fig. 2 muestra la distribución acumulativa en el tiempo de la temperatura de ruido de la antena medida en 11,75 GHz y 17,6 GHz. La temperatura de ruido indicada en la fig. 2 es el valor medido en el borde de salida de la bocina de alimentación.



Curvas A: 17,6 GHz, durante 7200 h
B: 11,75 GHz, durante 8100 h

Diámetro de la antena: 10 m
Ángulo de elevación: 30°

La principal contribución a la temperatura de ruido de la antena es debida a la atenuación atmosférica. Otras contribuciones son las debidas a los efectos cósmicos y a la radiación procedente del suelo.

Las mediciones presentadas en la fig. 2 se han efectuado con un ángulo de elevación de la antena de 30°. El periodo de medición es el comprendido entre agosto de 1975 y junio de 1977. Las condiciones durante el periodo de medición pueden considerarse como típicas del régimen de precipitaciones en ese lugar.

La fig. 3 muestra la dependencia de la temperatura de ruido de la antena con relación al ángulo de elevación en condiciones de cielo despejado. El valor de la temperatura de ruido de la antena de la fig. 3 corresponde al indicado en la fig. 2 para un porcentaje del 50% del tiempo. El análisis de los resultados de las mediciones indicados en la fig. 3 ha demostrado que la temperatura de ruido de la antena está constituida por una parte que depende del ángulo de elevación y un componente aproximadamente constante.

Este componente constante está constituido por:

- radiación cósmica de fondo en microondas cuyo valor alcanza unos 2,8 K;
- ruido producido por la radiación de la tierra. Esta contribución varía ligeramente con el ángulo de elevación de la antena como consecuencia de las características de los lóbulos laterales del diagrama de radiación. De esta contribución se espera un valor comprendido entre unos 4 a 6 K;
- contribución de ruido debida a pérdidas óhmicas del sistema de antena, que es del orden de 0,04 dB. Se prevé que esta componente dé un valor comprendido entre 3 y 4 K.

La parte de la temperatura de ruido de la antena que depende del ángulo de elevación fluctúa por causa del agua y del oxígeno presentes en la atmósfera y, a fin de estimar esta parte dependiente del ángulo de elevación, puede procederse a la aproximación de las curvas de puntos medidos de la fig. 3 mediante la siguiente función que ofrece una exactitud del 1% para ángulos de elevación mayores de 15°:

$$T_A = T_c + T_m \left(1 - \beta_0^{\operatorname{cosec} \alpha}\right) \quad \text{K} \quad (6)$$

en donde:

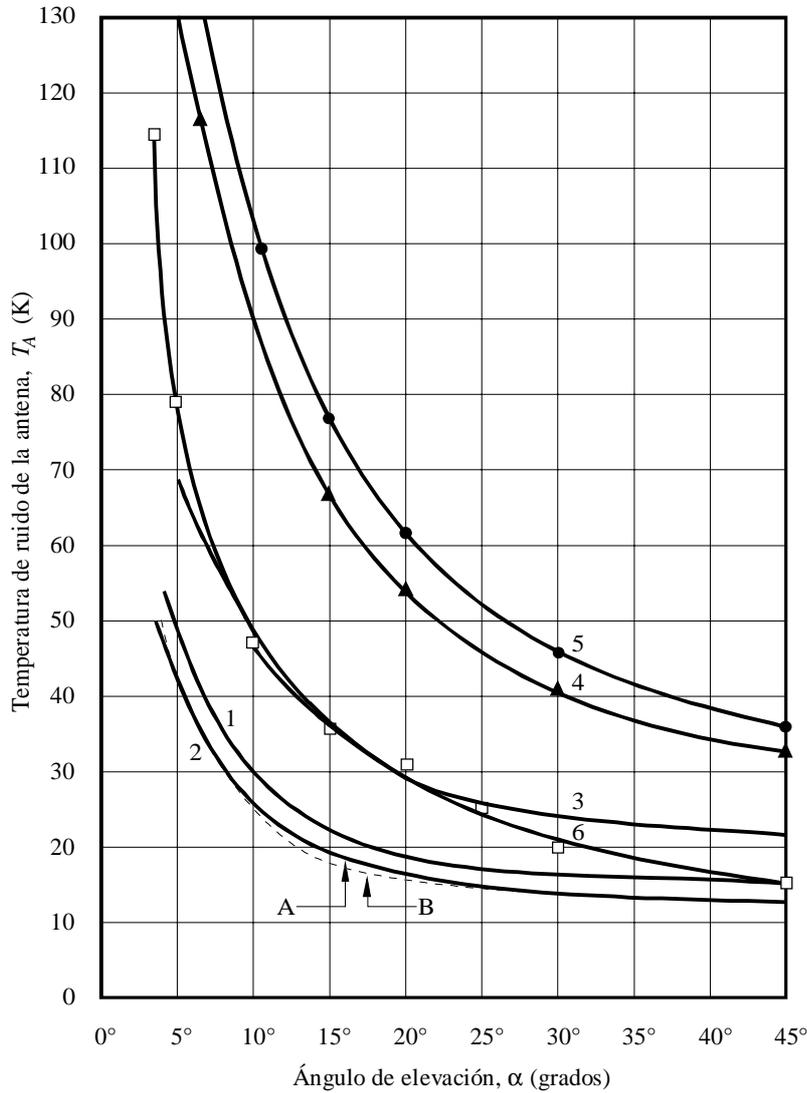
- T_A : temperatura de ruido de la antena
- T_c : parte constante de la temperatura de ruido
- T_m : temperatura media de radiación del medio absorbente
- β_0 : coeficiente de transmisión de la atmósfera en la dirección del cenit
- α : ángulo de elevación de la antena.

En la gama de ángulos de elevación comprendida entre 5° y 90°, las constantes de la función T_A son las indicadas en el cuadro 2.

Sobre la base de las constantes indicadas en el cuadro 2, para $\alpha = 90^\circ$ en la ecuación (6) el segundo término de esta expresión indica la temperatura del cielo en dirección del cenit debida a la atenuación atmosférica. La temperatura cenital de brillo puede obtenerse adicionando la temperatura cenital del cielo y la temperatura de ruido cósmico de fondo en microondas. En este caso particular, en el que las pérdidas atmosféricas son muy reducidas, se permite una adición simple.

FIGURA 3

Temperatura de ruido de la antena, T_A , en función del ángulo de elevación, α , de la antena en condiciones de cielo despejado



Nota 1 – Las curvas 1 a 6 se identifican con referencia al cuadro 2.

Nota 2 – Las condiciones de medición fueron las siguientes:

| Características | Temperatura (K) | Humedad relativa (%) | Humedad absoluta (g/m ³) | Presión barométrica (mbar) |
|---------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| Curvas 1 y 3 | 279 | 82 | 6 | 1 016 |
| Curva 2 | 294 | 51 | 10 | 1 018 |
| A: calculada B: medida | | | | |
| Curva 4 ▲: medida | 296 | 50 | 10 | 1 006 |
| Curva 5 ●: medida | 290 | 49 | 7 | 1 013 |
| Curva 6 □: medida | 281,5 | 66 | 6 | 1 017 |

CUADRO 2

| Ref. N.º (véase la fig. 3) | Frecuencia (GHz) | Diámetro de la antena (m) | T_c (K) | β_0 | Técnicas de medición | Estación de referencia |
|----------------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------|-----------|-------------------------|--------------------------------|
| 1 | 11,75 | 10 | 8,3 | 0,9858 | Radiómetro | OTS de 10 m Países Bajos |
| 2 | 11,45 | 18,3 | 7,3 | 0,988 | Factor y | OTS/IS-V de 18,3 m Alemania |
| 3 | 17,6 | 10 | 8,3 | 0,9738 | Radiómetro | OTS de 10 m Países Bajos |
| 4 | 18,4 | 13 | 9,3 | 0,940 | Radiómetro | CS de 13 m Japón |
| 5 | 31,65 | 10 | 11,5 | 0,934 | Radiómetro | ECS de 10 m Japón |
| 6 | 18,75 | 11,5 | 4,5 | 0,970 | Radiómetro | CS de 11,5 m Japón |

La temperatura cenital del cielo puede también calcularse utilizando la humedad de la superficie terrestre como parámetro de entrada. Los resultados de este cálculo y el valor encontrado por medición se resumen en el cuadro 3.

CUADRO 3

| Frecuencia (GHz) | Temperatura del cielo en dirección del cenit | | Mediciones de temperatura cenital de brillo (K) |
|---------------------|---|-----------------|--|
| | Cálculo (K) | Medición (K) | |
| 11,75 | 3,2 | 3,9 | 6,7 |
| 17,6 | 7,8 | 7,2 | 10,0 |
| 18,4 | 14,7 | 16,7 | 19,5 |
| 31,65 | 14,3 | 18,3 | 21,1 |

ANEXO 2

**Medición de la relación ganancia/temperatura de ruido mediante
una señal procedente de un satélite geostacionario**

1. Introducción

En el método descrito en el presente anexo se utiliza una señal procedente de un satélite geostacionario en lugar de las emisiones de una fuente radioeléctrica estelar. Esto permite soslayar varios inconvenientes del método descrito en el anexo 1.

2. Método de medida

Con este método se sustituye la señal de la fuente radioeléctrica estelar por una señal de satélite y, en lugar de medir la relación entre la potencia de la señal estelar más el ruido y la potencia de ruido, se mide la relación entre la señal total procedente del satélite más el ruido y la potencia de ruido. Existe también un ruido que proviene del satélite debido, por ejemplo, al factor de ruido del receptor del vehículo espacial, y dicho ruido adicional puede tenerse en cuenta. Además, debe disponerse de una estación terrena de referencia, con una relación G/T conocida y una ganancia de recepción conocida con respecto al satélite que se utiliza para efectuar la medición, a fin de medir simultáneamente con dicha estación la potencia de salida del satélite.

Midiendo la relación r entre la potencia de la señal del satélite más la potencia de ruido y la potencia de ruido, se puede determinar la relación G/T por la expresión:

$$G/T = [(k B L A) / E] \cdot [(r - 1) - (T_{sat} / T)]$$

donde:

- k : constante de Boltzmann
- B : anchura de banda de ruido del receptor de la estación terrena (Hz)
- L : pérdida en el espacio libre
- A : factor de corrección del aspecto de la antena del satélite
- E : p.i.r.e. en el centro del haz del satélite (W)
- T_{sat} : temperatura de ruido de la estación terrena debida al satélite (K)
- T : temperatura de ruido del sistema de la estación terrena (K)
- $r = (C + kT_{sat}B + kTB) / (kTB)$
- C : potencia de la portadora del satélite en la estación terrena receptora (W).

3. Limitaciones del método

Resulta muy difícil medir T_{sat} cuando se utilizan señales originadas en una estación terrena de enlace ascendente en lugar de la señal de una radiobaliza espacial. Para resolver esta dificultad es preciso que la relación r sea lo mayor posible. Si se desprecia la contribución de ruido debida al satélite, la relación G/T viene dada por:

$$G/T = [k B L A \cdot (r - 1)] / E$$

El error debido a esta aproximación viene dado por:

$$d = (r - 1) / [(r - 1) - (T / T_{sat})]$$

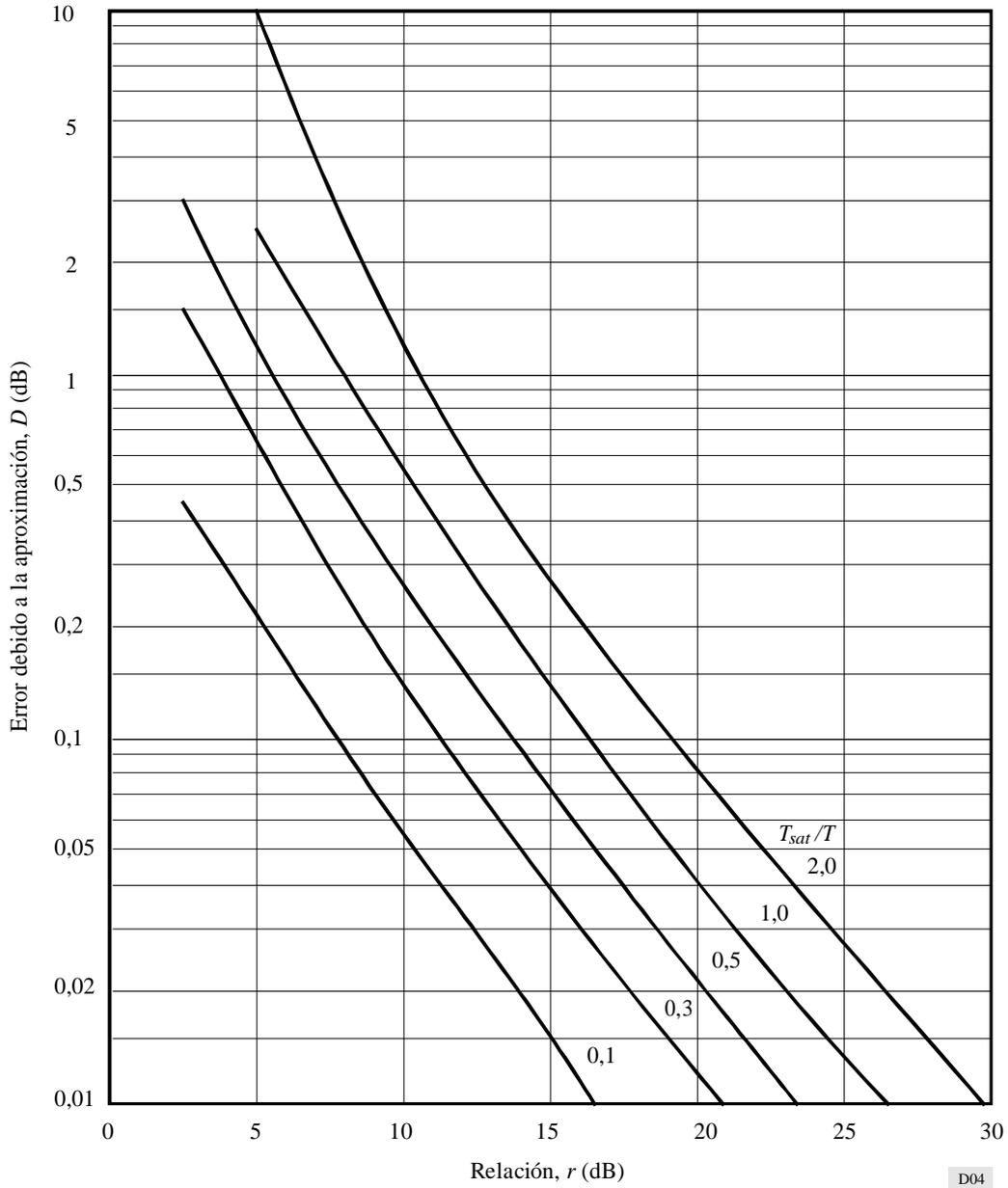
o bien (dB):

$$D = 10 \log \left[(r - 1) / [(r - 1) - (T / T_{sat})] \right]$$

Este error puede determinarse por medio de la fig. 4 cuyo parámetro es T / T_{sat} .

FIGURA 4

Error D debido a la aproximación en función de r , con T_{sat}/T como parámetro



D04

ANEXO 3

Método de determinación de las características de antena de las estaciones terrenas a frecuencias superiores a 10 GHz

1. Introducción

En los sistemas de telecomunicaciones por satélite que funcionan a frecuencias superiores a 10 GHz, las especificaciones de las estaciones terrenas, y en particular, el factor de calidad G/T , deben tener en cuenta la atenuación debida a la atmósfera y a las precipitaciones. Esta atenuación viene expresada por lo general por un porcentaje de tiempo que se determina en función de la calidad que se desea para el sistema.

La especificación del factor de calidad G/T debe tener en cuenta la atenuación:

- directamente, por una parte, puesto que esta atenuación da lugar a un aumento de la relación G/T requerida;
- indirectamente por otra, puesto que esta atenuación implica un incremento del término T de temperatura de ruido.

Las fórmulas que se dan a continuación deben permitir la normalización de los métodos de determinación de las características de la antena, teniendo en cuenta la atenuación.

2. Especificación del factor de calidad

La fórmula general que especifica el factor de calidad G/T de las estaciones terrenas a frecuencias superiores a 10 GHz, generalmente, es la siguiente:

$$\frac{G}{T_i} - L_i \geq \left(K_i + 20 \log \frac{F}{F_0} \right) \quad \text{dB(K}^{-1}\text{)} \quad (7)$$

en la banda de recepción de frecuencias F durante un porcentaje del tiempo de por lo menos $(100-P_i)\%$.

El término L_i , expresado en dB, es la pérdida suplementaria en el enlace espacio-Tierra debida a las condiciones nominales de cielo despejado.

T_i es la temperatura de ruido del sistema receptor, incluida la contribución de ruido debida a L_i , referida a la entrada del amplificador de bajo nivel de ruido de recepción.

Como ejemplo se puede citar:

La siguiente doble especificación para las estaciones terrenas AMDT-TV en la banda 11-12/14 GHz de la red europea (EUTELSAT):

$$\frac{G}{T_1} - L_1 \geq \left(37 + 20 \log \frac{F}{11,2} \right) \quad \text{dB(K}^{-1}\text{)} \quad \text{en condiciones de cielo despejado}$$

$$\frac{G}{T_2} - L_2 \geq \left(26,5 + 20 \log \frac{F}{11,2} \right) \quad \text{dB(K}^{-1}\text{)} \quad \text{durante por lo menos el 99,99\% del año.}$$

3. Modelo de cálculo

Se pretende establecer una relación $D = f(L_i, K_i, T_R)$ que permita determinar el diámetro de apertura circular D que debe darse a la antena de una estación terrena cuyo factor de calidad G/T_i viene especificado por la fórmula (7) teniendo en cuenta el valor T_R de la temperatura de ruido del equipo de recepción.

Puesto que la ganancia G de la antena viene dada por la relación:

$$G = 10 \log \left[\eta \left(\frac{\pi D F}{c} \right)^2 \right]$$

la fórmula (7) se puede expresar de la siguiente manera:

$$20 \log D \geq L_i + K_i + 10 \log T_i - 10 \log \eta + 20 \log \frac{c}{\pi F_0} \quad (8)$$

donde:

- D : diámetro de la antena (m)
- c : velocidad de la luz: 3×10^8 m/s
- F_0 : frecuencia (GHz)
- η : eficiencia de la antena en recepción, a la frecuencia F_0
- L_i : factor de atenuación atmosférica (en relación con las condiciones de cielo despejado) (dB)
- K_i : valor especificado del factor de calidad para cielo despejado a la frecuencia F_0 (dB/(K⁻¹))
- T_i : temperatura de ruido de la estación terrena referida al acceso de recepción (K).

La temperatura T_i , de ruido de la estación terrena viene dada con una buena aproximación por la fórmula:

$$T_i = \frac{L'_i - 1}{\alpha L'_i} (T_{atm} - T_c) + \frac{1}{\alpha} \left[T_c + T_s + (\alpha - 1) T_{fis} \right] + T_R \quad \text{K} \quad (9)$$

donde:

T_c : temperatura de ruido de la antena debido al funcionamiento en condiciones de cielo despejado

T_s : temperatura de ruido de la antena debida al suelo

T_{atm} : temperatura física de la atmósfera y de las precipitaciones

T_{fis} : temperatura física de los elementos no radiantes del sistema de alimentación

T_R : temperatura de ruido de los equipos de recepción

$\alpha \geq 1$: pérdidas resistivas debidas a los elementos no radiantes del sistema de alimentación

$L'_i \geq 1$: atenuación debida a la atmósfera y a las precipitaciones (relación)

$L'_i = 10^{\frac{L_i}{10}}$, donde L_i está expresada en dB.

Resulta cómodo expresar la fórmula (9) de la siguiente manera:

$$T_i = T_A + (\Delta T_A) + T_R \quad (10)$$

donde:

T_A : temperatura de ruido de la antena en condiciones de cielo despejado ($L_i = 0$ dB)

$$T_A = \frac{T_c + T_s}{\alpha} + \frac{\alpha - 1}{\alpha} T_{fis} \quad (11)$$

ΔT_A : aumento de la temperatura de ruido de antena provocado por la atenuación de la atmósfera y de las precipitaciones

$$\Delta T_A = \frac{L'_i - 1}{\alpha L'_i} (T_{atm} - T_c) \quad (12)$$

Introduciendo la relación (9) o la relación (10) en la fórmula (8) se puede obtener D como se indica a continuación:

$$D = f(L_i, K_i, T_R)$$

mediante datos complementarios relativos a las características típicas de las antenas de estaciones terrenas que funcionan en la banda de frecuencias considerada.

4. Ejemplo de cálculo

En el ejemplo que sigue se calcula el diámetro D de la antena de una estación AMDT/TV en la banda 11-12/14 GHz de EUTELSAT que cumple la doble especificación del § 2.

4.1 Hipótesis

– Los cálculos se efectúan a $F_0 = 11,2$ GHz, con un ángulo de elevación del orden de 30° por encima del horizonte,

– la eficiencia de la antena en el extremo recepción a la frecuencia F_0 es:

$$\eta = 0,67$$

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 15 \text{ K} \\ T_s = 10 \text{ K} \end{array} \right\} \text{ (valores típicos de contribución a la temperatura de ruido de antena para un ángulo de elevación de } 30^\circ \text{ a } F_0 = 11,2 \text{ GHz)}$$

$$T_{atm} = 270 \text{ K}$$

$$T_{fis} = 290 \text{ K}$$

$$\alpha = 1,122 \text{ (pérdidas resistivas = 0,5 dB)}$$

– las especificaciones, son:

$$K_1 = 37 \text{ dB}$$

$$K_2 = 26,5 \text{ dB.}$$

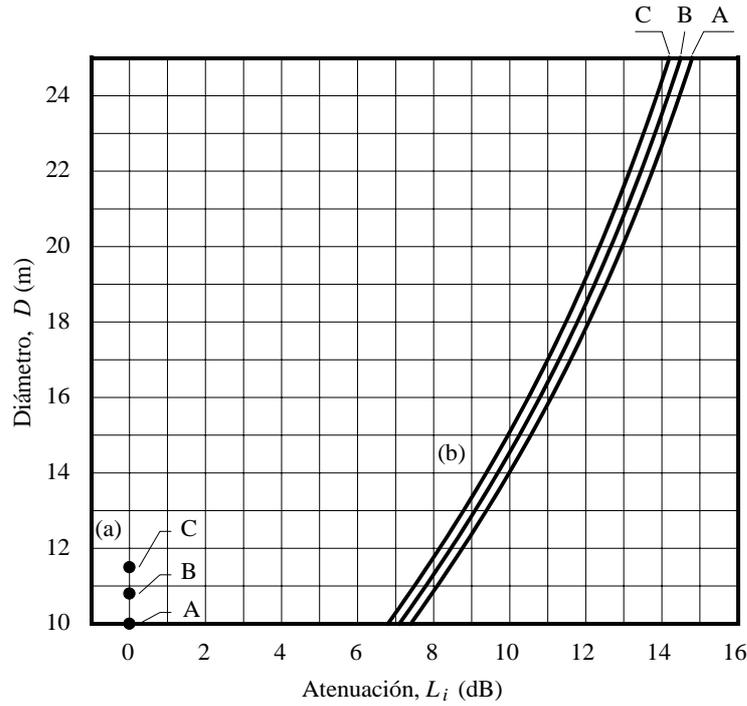
4.2 **Resultados del cálculo**

La fig. 5 muestra dos series de curvas:

$$D = f(L_i)$$

usando como parámetros la doble especificación del factor de calidad para cielo despejado, K_i (véase el § 2) y tres valores de la temperatura de ruido de los equipos de recepción T_R (130 K, 160 K y 190 K).

FIGURA 5
Variación del diámetro D de la antena en función de la atenuación L_i



Para dos valores del factor de calidad (a 11,2 GHz):

- (a): $G/T_1 = 37 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$
- (b): $G/T_2 = 26,5 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$

y para tres valores de la temperatura de ruido T_R de los equipos de recepción:

- A: $T_R = 130 \text{ K}$
- B: $T_R = 160 \text{ K}$
- C: $T_R = 190 \text{ K}$

D05

En el caso del ejemplo analizado, si $T_R = 160 \text{ K}$ y si se desea situar una estación en un lugar en el que los datos de propagación son tales que:

- $L_1 = 0 \text{ dB}$ en condiciones de cielo despejado,
- $L_2 \leq 8 \text{ dB}$ durante el 99,99% del año,

se llega a los siguientes dos valores de diámetro de antena:

- $D_1 = 10,70 \text{ m}$, y
- $D_2 = 11,40 \text{ m}$,

lo que obliga a elegir $D \geq 11,40 \text{ m}$ para ajustarse al requisito de doble especificación.