

Recomendación UIT-R P.372-17

(08/2024)

Serie P: Propagación de las ondas radioeléctricas

Ruido radioeléctrico



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <https://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2024

© UIT 2024

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R P.372-17

Ruido radioeléctrico*

(Cuestión UIT-R 214/3)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994-2001-2003-2007-2009-2013-2015-2016-2019-2021-2022-2024)

Cometido

La Recomendación UIT-R P.372 facilita información sobre los niveles de fondo de ruido radioeléctrico¹ en la gama de frecuencias radioeléctricas entre 0,1 Hz y 100 GHz. En ella se tiene en cuenta el ruido originado por los rayos, los gases atmosféricos, las nubes, la lluvia, la superficie de la Tierra, la galaxia y las fuentes artificiales. Los factores de ruido o temperaturas facilitados proporcionan una base para estimar el funcionamiento del sistema.

Palabras clave

Factor de ruido, ruido radioeléctrico, temperatura de ruido, temperatura de brillo del cielo

Abreviaturas/glosario

IDWM	Mapa mundial digitalizado de la UIT (<i>ITU digitized world map</i>)
LoS	Visibilidad directa (<i>line-of-sight</i>)
snmm	Sobre el nivel medio del mar

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el ruido radioeléctrico impone un límite de calidad de funcionamiento a los sistemas de radiocomunicaciones;
- b) que el factor de ruido efectivo de la antena o la temperatura de ruido de la antena, junto con la distribución de probabilidad de las amplitudes de la envolvente del ruido recibido, son parámetros adecuados (casi siempre necesarios, pero a veces no suficientes) para el análisis y diseño de la calidad de funcionamiento del sistema;
- c) que es necesario conocer las emisiones radioeléctricas procedentes de fuentes naturales para:
 - evaluar los efectos de la atmósfera en las ondas radioeléctricas;
 - atribuir frecuencias para la teledetección del entorno de la Tierra;
- d) que el ruido radioeléctrico de fuentes artificiales es importante a efectos de la fijación del límite de algunas aplicaciones radioeléctricas;
- e) que la Recomendación UIT-R SM.1753 incluye diversos métodos de medición del ruido radioeléctrico;

* Se dispone de un programa informático asociado con el cálculo del ruido atmosférico debido al rayo, del ruido artificial y del ruido galáctico (en frecuencias por debajo de unos 100 MHz) descrito en esta Recomendación en <https://github.com/ITU-R-Study-Group-3/ITU-R-HF/releases/tag/v14.3>.

¹ Los términos 'ruido radioeléctrico', 'ruido de radiofrecuencia' y 'ruido de RF' son sinónimos.

f) que la Recomendación UIT-R SM.2093 proporciona métodos para mediciones del entorno de ruido en interiores,

recomienda

que se utilice la siguiente información sobre los niveles de ruido de fondo del ruido radioeléctrico externo, según proceda, en el diseño y análisis de sistemas de radiocomunicaciones:

ÍNDICE

	<i>Página</i>
PARTE 1	3
1.1 Fuentes de ruido radioeléctrico.....	3
1.2 Términos para la especificación de intensidad de ruido y su interrelación	4
PARTE 2.....	7
PARTE 3.....	10
3.1 Ruido radioeléctrico debido a la atmósfera de la Tierra para estaciones terrenas	11
3.2 Ruido radioeléctrico debido a la atmósfera de la Tierra y la superficie de la Tierra para estaciones espaciales	13
PARTE 4.....	18
4.1 Temperatura de brillo debida a fuentes extraterrestres	18
PARTE 5.....	25
5.1 Ruido atmosférico debido al rayo.....	25
PARTE 6.....	100
6.1 Ruido artificial en el exterior.....	100
6.2 Ruido artificial en el interior.....	102
PARTE 7.....	103
7.1 Combinación de ruidos procedentes de varias fuentes	103

PARTE 1

Consideraciones generales**1.1 Fuentes de ruido radioeléctrico**

La definición de ruido radioeléctrico es la siguiente:

Ruido radioeléctrico

Fenómeno electromagnético variable que se manifiesta en las radiofrecuencias, aparentemente no lleva información y es susceptible de superponerse o combinarse como una señal útil.

NOTA 1 – En algunas ocasiones un ruido radioeléctrico puede llevar información acerca de algunas características de su fuente, por ejemplo su naturaleza y emplazamiento.

NOTA 2 – Un conjunto de señales puede aparecer como un ruido radioeléctrico cuando no son identificables por separado.

La presente Recomendación facilita datos sobre el ruido radioeléctrico radiado que emana de fuentes externas al sistema receptor de radiocomunicaciones, se recibe a través de la antena de referencia y deriva de una de las siguientes causas:

- ruido natural:
 - emisiones procedentes de hidrometeoros y de gases atmosféricos;
 - la superficie de la Tierra; por ejemplo, emisividad del terreno, océano y otros obstáculos situados dentro del haz de antena;
 - la radiación procedente de fuentes radioeléctricas celestes;
 - radiación procedente de descargas del rayo y otras descargas de electricidad estática (ruido atmosférico);
- ruido artificial:
 - en especial para antenas exteriores, la suma de radiación no intencionada procedente de maquinaria eléctrica, equipos y redes eléctricos y electrónicos, líneas de transmisión de energía, comunicación por la red eléctrica, transferencia de potencia inalámbrica, equipos industriales, científicos y médicos (ICM) o sistemas de encendido de motores de combustión interna, así como la radiación electromagnética procedente de recintos, líneas de transmisión y cables imperfectamente apantallados;
 - en espacios interiores o para antenas situadas cerca de obstáculos, la suma de radiación no intencionada, como se ha indicado anteriormente, en la medida de lo posible, incluidos en este caso los niveles típicos de radiación de las fuentes individuales o de un número reducido de fuentes, en entornos típicos definidos.

NOTA 3 – Las estimaciones de los niveles de ruido radioeléctrico proporcionadas no incluyen las señales asociadas a los servicios radioeléctricos que también estén presentes. Las emisiones no esenciales de sistemas transmisores o receptores individuales pueden formar parte del nivel de ruido acumulado recibido.

NOTA 4 – Esta Recomendación contiene información relacionada únicamente con el ruido radioeléctrico que llega al receptor a través de la antena y del cable de alimentación o la guía de ondas. Queda así excluido el ruido que puede llegar al receptor a través de otros cables o estructuras conductoras, junto con el ruido que puede recibirse debido a un apantallamiento o un equilibrio inadecuado del cable de alimentación y las conexiones, etc.

NOTA 5 – Con respecto al ruido artificial, se trata de que los datos proporcionados sean representativos de la categoría del entorno, con niveles típicos de actividad eléctrica y electrónica que funcionan normalmente, a distancias típicas para ese entorno.

1.2 Términos para la especificación de intensidad de ruido y su interrelación

El ruido de un sistema receptor se compone de un número de fuentes de ruido en el terminal receptor del sistema. Deben considerarse tanto el ruido externo como el ruido interno generado en el receptor. El único punto de referencia adecuado para el ruido de funcionamiento global de un sistema de recepción de radiocomunicaciones es la entrada de una antena receptora equivalente sin pérdidas (los terminales de esta antena sin pérdidas no existen físicamente).

Este ruido puede expresarse como un factor de ruido, f , relativo al ruido térmico, como temperatura de ruido efectiva o como una intensidad de campo eléctrico.

1.2.1 Factor de ruido

Para receptores sin respuestas parásitas, el factor de ruido del sistema viene dado por:

$$f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1) \quad (1)$$

donde:

f_a : factor de ruido externo definido como:

$$f_a = \frac{P_n}{k T_0 b} \quad (2)$$

NOTA 1 – F_a es el factor de ruido externo definido como:

$$F_a = 10 \log f_a \quad \text{dB}$$

p_n : potencia de ruido disponible suministrada por una antena sin pérdidas equivalente

k : constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T_0 : temperatura de referencia (K) que se supone de 290 K

b : anchura de banda de la potencia de ruido del sistema receptor (Hz)

l_c : pérdidas del circuito de antena (potencia de entrada disponible/potencia de salida disponible)

l_t : pérdidas de la línea de transmisión (potencia de entrada disponible/potencia de salida disponible)

f_r : factor de ruido interno del receptor.

NOTA 2 – F_r es el factor de ruido del receptor definido como:

$$F_r = 10 \log f_r \quad \text{dB}$$

f_c es el factor de ruido asociado a las pérdidas del circuito de antena,

$$f_c = 1 + (l_c - 1) \left(\frac{T_c}{T_0} \right) \quad (3)$$

f_t es el factor de ruido asociado a las pérdidas de la línea de transmisión,

$$f_t = 1 + (l_t - 1) \left(\frac{T_t}{T_0} \right) \quad (4)$$

donde:

T_c : temperatura real (K) de la antena y la superficie cercana

y

T_t : temperatura real (K) de la línea de transmisión.

Si $T_c = T_t = T_0$, la ecuación (1) pasa a ser:

$$f = f_a - 1 + f_c f_t f_r \quad (5)$$

La ecuación (2) puede expresarse de la forma siguiente:

$$P_n = F_a + B - 204 \quad \text{dBW} \quad (6)$$

donde:

$P_n = 10 \log p_n$: potencia disponible (W)

$B = 10 \log b$, y $-204 = 10 \log k T_0$.

1.2.2 Valor eficaz de la intensidad de campo de ruido

Los valores correspondientes de E_n se pueden determinar con valores estimados de F_a , utilizando las ecuaciones (7) y (8) adecuadas para el tipo de antena empleado.

En el caso de un monopolo vertical corto ($h \ll \lambda$) sobre un suelo plano perfectamente conductor, la componente vertical del valor eficaz de la intensidad de campo viene dada por:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 95,5 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (7)$$

donde:

E_n : intensidad de campo en la anchura de banda b , y

f_{MHz} : frecuencia central (MHz).

De forma similar, para una antena isótropa de referencia en el espacio libre:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 96,8 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

1.2.3 Temperatura de ruido

El factor de ruido externo también se expresa normalmente como una temperatura, T_a , donde, por definición de f_a :

$$f_a = \frac{T_a}{T_0} \quad (9)$$

donde T_a es la temperatura efectiva de la antena debida al ruido externo.

1.2.4 Variabilidad del ruido

La potencia de ruido, si bien se necesita para determinar, por ejemplo, la relación señal/ruido apenas es suficiente para determinar la calidad de funcionamiento del sistema (constituyendo la única excepción al ruido de fondo gaussiano blanco). Se necesitan las descripciones probabilísticas adecuadas de la onda de ruido aleatoria recibida. Como para los tipos de ruido relativos a esta Recomendación, la fase de la envolvente recibida normalmente presenta una distribución uniforme, se especifica la distribución de probabilidad de las amplitudes (probabilidad de rebasamiento) de la envolvente recibida.

Para los procesos de ruido impulsivo a frecuencias más elevadas (es decir, superiores a 1 GHz aproximadamente), los valores de F_a son bastante bajos y únicamente los impulsos de mayor amplitud aparecen por encima del umbral de ruido del receptor. El ruido impulsivo puede describirse mediante su valor de cresta en un intervalo de tiempo determinado, las probabilidades de rebasamiento en estos niveles elevados, o el cómputo de impulsos a un nivel especificado.

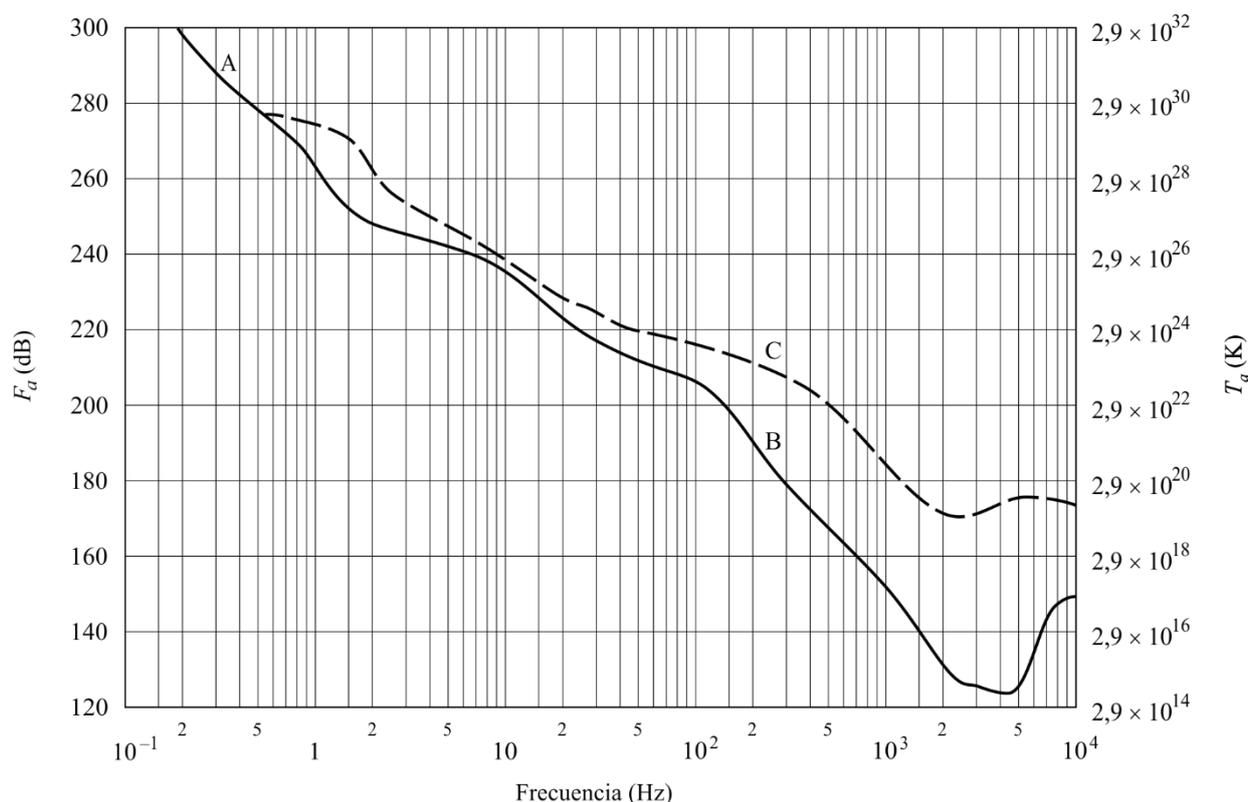
PARTE 2

Niveles de ruido en función de la frecuencia

Las Figs. 1 a 3 y el análisis correspondiente especifican los valores esperados de F_a en la gama de frecuencias de 0,1 Hz a 100 GHz, así como otros niveles de ruido de interés. Las tres Figuras muestran la magnitud relativa de los tipos de ruido especificados en el § 1. En otros puntos de esta Recomendación aparecen detalles adicionales sobre diversos tipos de ruidos.

La Fig. 1 comprende la gama de frecuencias de 0,1 Hz a 10 kHz. La curva de trazo continuo corresponde a los valores medianos horarios mínimos esperados de F_a basados en mediciones (teniendo en cuenta la superficie total de la Tierra, para todas las estaciones y horas del día) y la curva discontinua a los máximos valores esperados. Es de notar que en esta gama de frecuencias las variaciones estacionales, diarias o geográficas son muy pequeñas. La mayor variabilidad en la gama de 100-10 000 Hz se debe a la variabilidad de la frecuencia de corte del guiaondas Tierra-ionosfera.

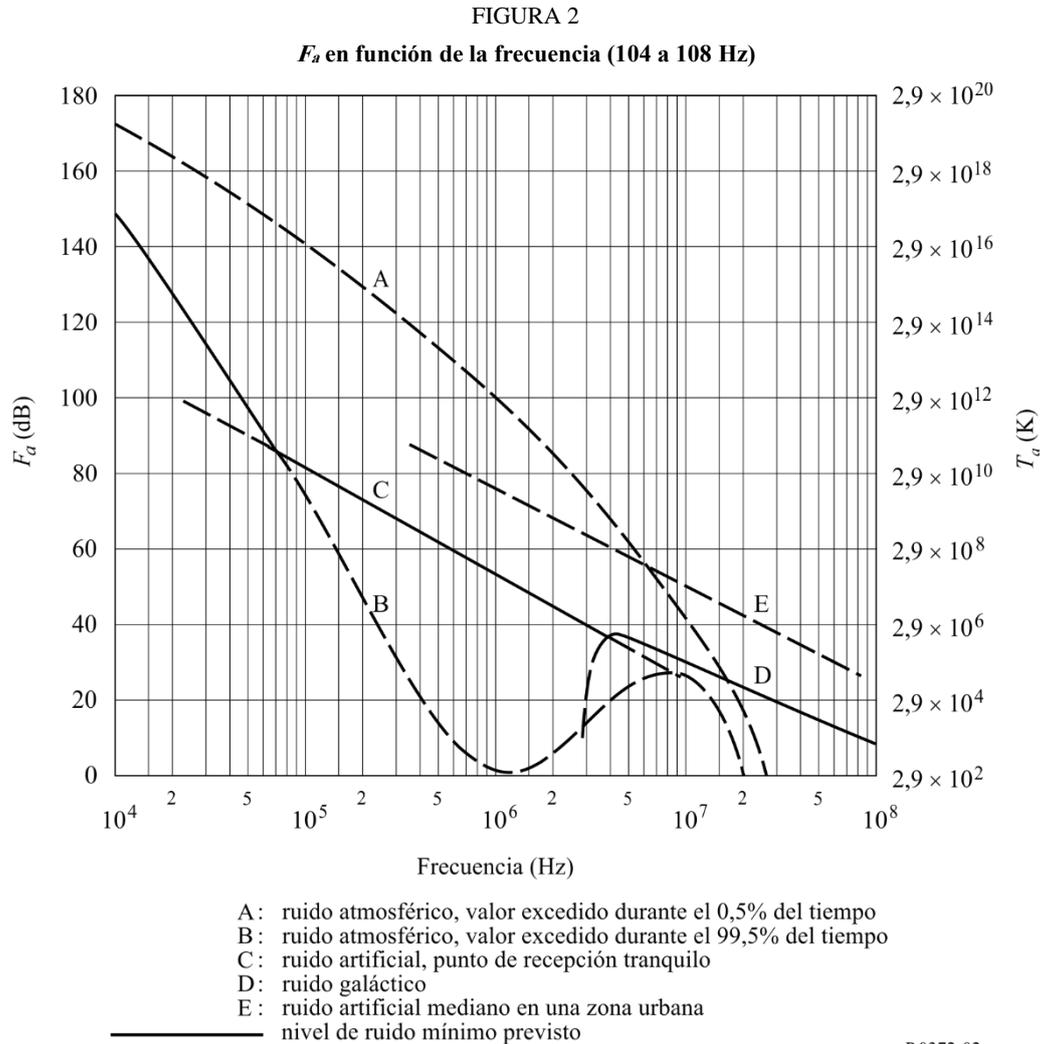
FIGURA 1
 F_a máximo y mínimo en función de la frecuencia (10^{-1} a 10^4 Hz)



A: microimpulsos
B: valor mínimo previsto del ruido atmosférico
C: valor máximo previsto del ruido atmosférico

P.0372-01

La Fig. 2 comprende la gama de frecuencias de 10^4 a 10^8 Hz, o sea, de 10 kHz a 100 MHz, para diversas categorías de ruido. Las curvas de trazo continuo muestran el ruido mínimo esperado. Para el ruido atmosférico debido al rayo, se adoptan como valores mínimos de las medianas horarias previstos los excedidos durante el 99,5% de las horas y como valores máximos los excedidos durante el 0,5% de las horas. Se han tenido en cuenta todas las horas del día, las estaciones y la superficie total de la Tierra.

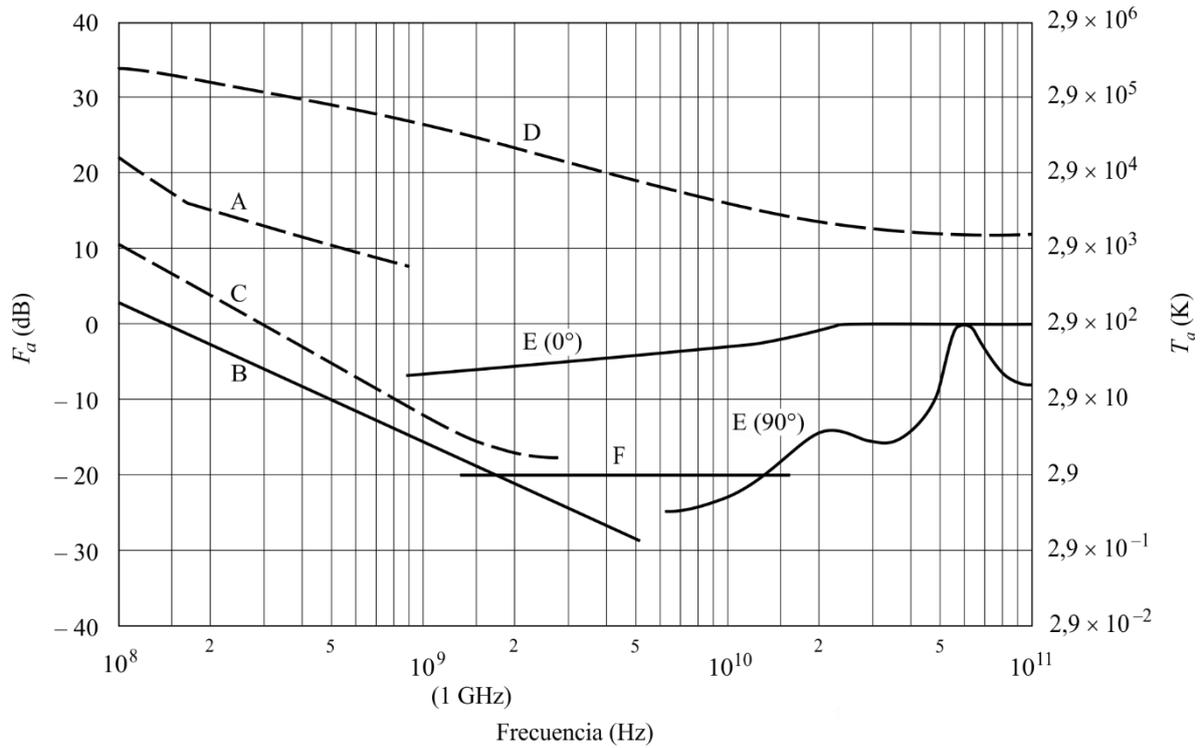


La Fig. 3 comprende la gama de frecuencias de 10^8 a 10^{11} Hz, o sea de 100 MHz a 100 GHz. Aquí también el ruido mínimo se representa por curvas de trazo continuo, mientras que algún otro ruido de interés se indica por curvas discontinuas.

La mayor parte de los resultados de las tres Figuras corresponden a antenas omnidireccionales (de no indicarse otra cosa en las Figuras). No obstante, para antenas direccionales los estudios han indicado que en ondas decamétricas (por ejemplo), para el ruido atmosférico originado por descargas atmosféricas, puede existir una variación, según la dirección de puntería de la antena, la frecuencia y la ubicación geográfica de hasta 10 dB (5 dB por encima y 5 dB por debajo del valor medio de F_a indicado) para antenas de haz muy estrecho.

Para el ruido galáctico, el valor medio (para toda la bóveda celeste) viene dado por la curva de trazo continuo designada como ruido galáctico (Figs. 2 y 3). Las mediciones indican una variación de ± 2 dB alrededor de esta curva, despreciando la pantalla ionosférica. El ruido galáctico mínimo (antena de haz estrecho en dirección al polo galáctico) es inferior en 3 dB al de la curva de ruido galáctico de trazo continuo de la Fig. 3. El ruido galáctico máximo para antenas de haz estrecho se representa mediante la curva de trazo discontinuo de la Fig. 3.

FIGURA 3
 F_a en función de la frecuencia (10^8 a 10^{11} Hz)



- A: ruido artificial mediano en una zona urbana
 - B: ruido galáctico
 - C: ruido galáctico (en dirección del centro galáctico para un haz infinitamente estrecho)
 - D: Sol en calma (haz con $\frac{1}{2}$ grado de abertura orientado hacia el Sol)
 - E: ruido del cielo debido al oxígeno y al vapor de agua (antena de haz muy estrecho);
 curva superior, ángulo de elevación 0° ; curva inferior, ángulo de elevación 90°
 - F: cuerpo negro (ruido de fondo cósmico), 2,7 K
- nivel de ruido mínimo previsto

PARTE 3

Ruido procedente de gases atmosféricos y de la superficie de la Tierra

El ruido procedente de fuentes individuales tales como el Sol, los gases atmosféricos, la superficie de la Tierra, etc., se expresa normalmente en términos de temperatura de brillo, T_b . La temperatura de antena, T_a , es la convolución del diagrama de antena con la temperatura de brillo del cielo y la superficie. En antenas cuyos diagramas engloban una sola fuente, la temperatura de antena y la temperatura de brillo son las mismas (Curvas C, D y E de la Fig. 3, por ejemplo).

En las Figs. 4 y 5 se representa la temperatura de brillo de la atmósfera para un receptor situado en tierra, excluyendo la contribución del ruido cósmico de 2,7 K u otras fuentes extraterrestres, para frecuencias comprendidas entre 1 y 340 GHz, en primer lugar y entre 1 y 60 GHz, en segundo lugar. Las curvas se han determinado utilizando un programa de transferencia de radiación para siete ángulos de elevación distintos y una atmósfera media (densidad de vapor de agua en la superficie de 7,5 g, temperatura de la superficie de 288 K y escala de altitudes de 2 km para el vapor de agua). Para la atmósfera seca se ha utilizado la atmósfera típica de Estados Unidos de América de 1976. Más allá de la tropopausa se ha añadido la contribución típica del vapor de agua.

FIGURA 4

Temperatura de brillo (atmósfera despejada) para una concentración de vapor de agua de 7,5 g/m³
(temperatura y presión en la superficie de 15 °C y 1 023 mb);
 θ representa el ángulo de elevación

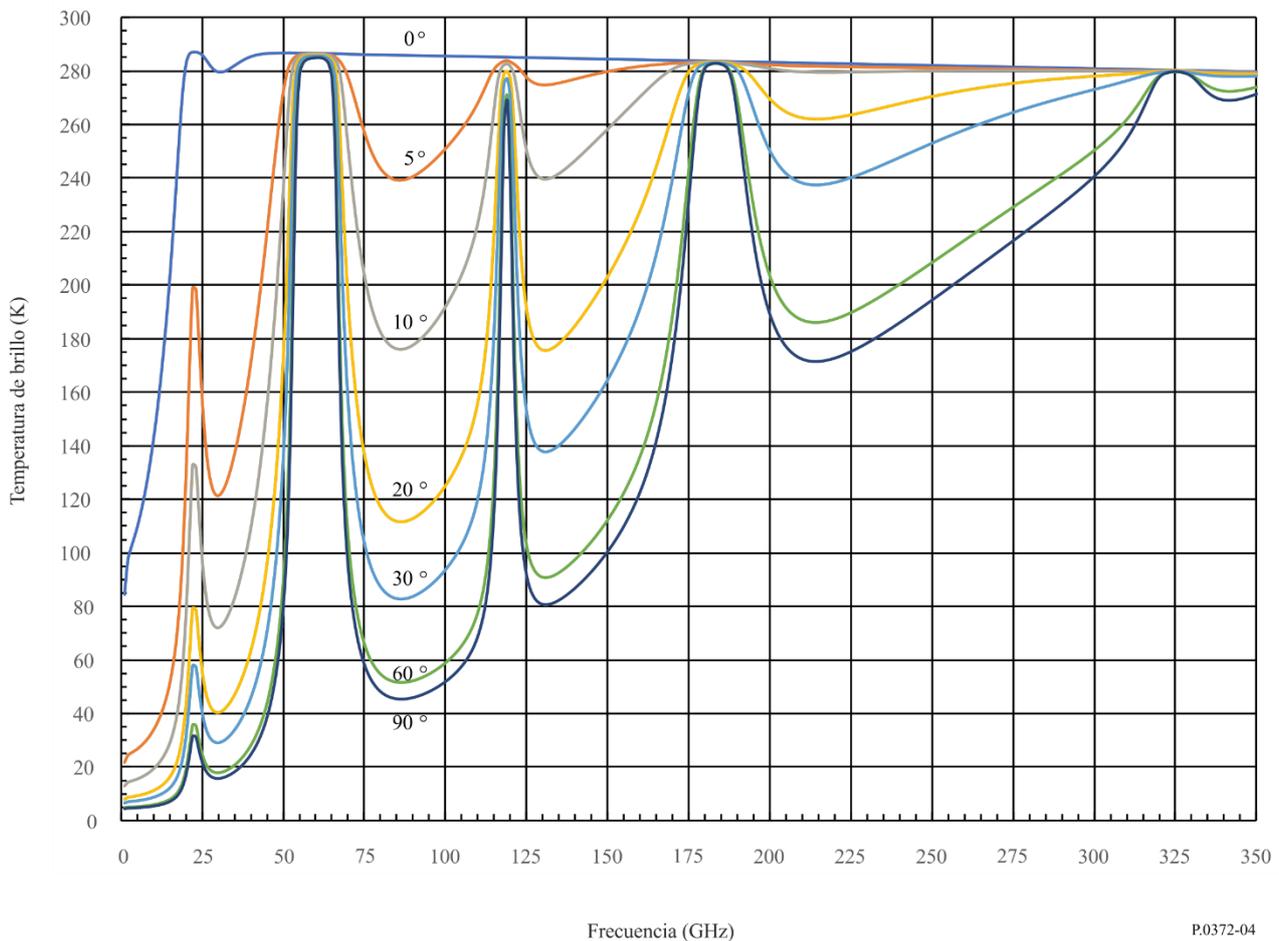
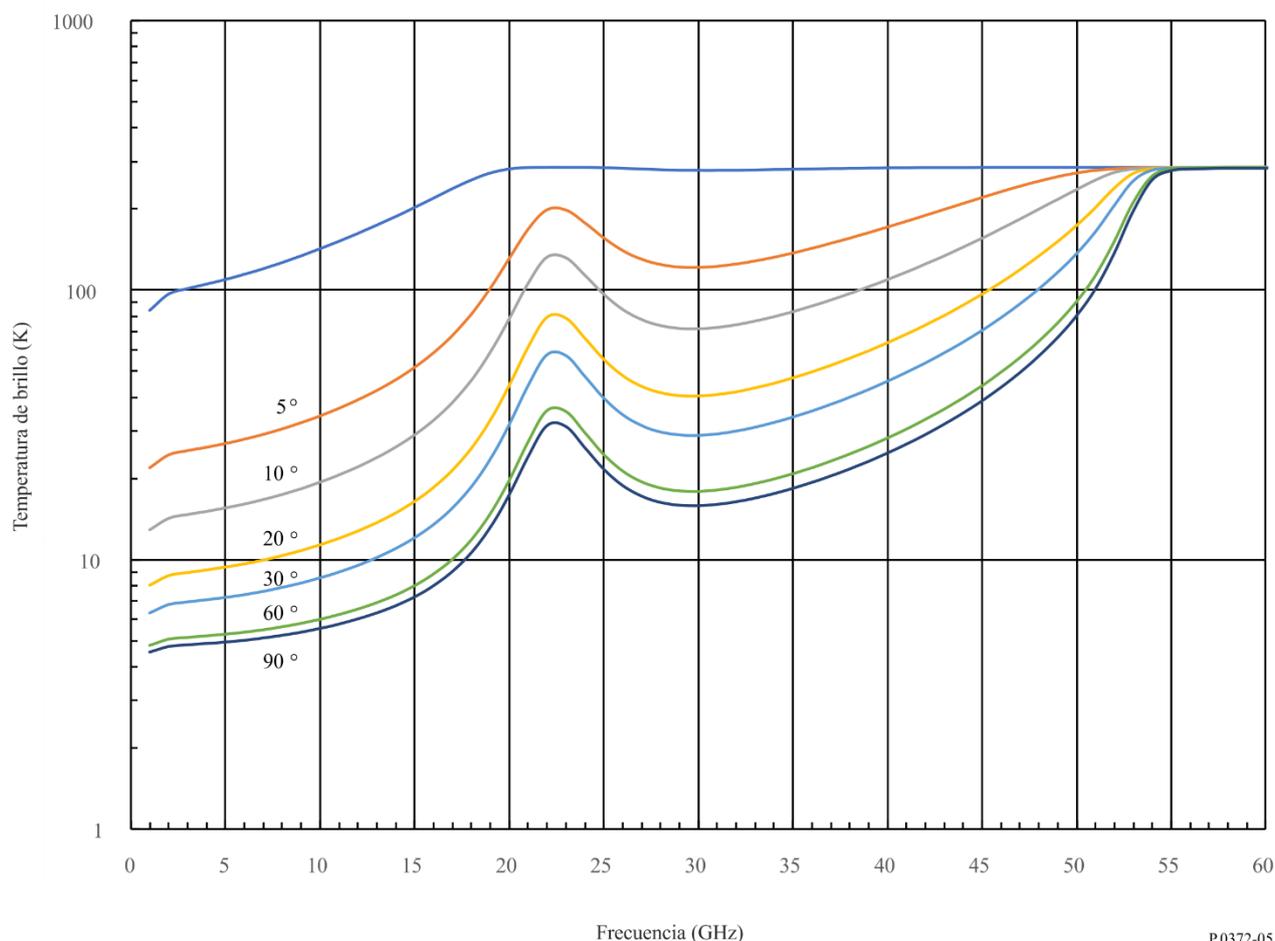


FIGURA 5

Temperatura de brillo (atmósfera despejada) para una concentración de vapor de agua de 7,5 g/m³
(ampliación de la escala de abscisas de la Fig. 4);
 θ representa el ángulo de elevación



3.1 Ruido radioeléctrico debido a la atmósfera de la Tierra para estaciones terrenas

3.1.1 Método de predicción de la temperatura de brillo instantánea

La temperatura de brillo del cielo instantánea, $T_B(f)$, K, puede predecirse para cualquier frecuencia, ángulo de elevación y emplazamiento en la superficie de la Tierra a partir de la atenuación instantánea total concurrente (excluido el desvanecimiento por centelleo) y los valores de superficie totales de presión (barométrica) temperatura y densidad de vapor de agua del emplazamiento en cuestión utilizando la siguiente fórmula:

$$T_B(f) = 2,73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}} + T_{mr}(f, T_s, P_s, \rho_{w_s}) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f,\theta)}{10}}\right) \quad (\text{K}) \quad (10)$$

donde:

$$T_{mr}(f, P_s, T_s, \rho_{w_s}) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot T_s + c_t(f) \cdot P_s + d_t(f) \cdot \rho_{w_s}, & \text{sin lluvia} \\ 275, & \text{con lluvia} \end{cases} \quad (\text{K}) \quad (11)$$

y:

f : frecuencia, en GHz, sin lluvia: $1 \leq f \leq 200$ GHz;
con lluvia: $1 \leq f \leq 55$ GHz

- P_s : presión (barométrica) instantánea total de superficie, en hPa, en el emplazamiento deseado
- T_s : temperatura instantánea de superficie, en K, en el emplazamiento deseado
- ρ_{w_s} : densidad de vapor de agua instantánea de superficie, en g/m³, en el emplazamiento deseado
- θ : ángulo de elevación sobre la superficie de la Tierra en el emplazamiento deseado
- $A_T(f, \theta)$: atenuación atmosférica instantánea total, excluido el centelleo, en dB, en el trayecto oblicuo espacio-Tierra deseado.

Los coeficientes a_t , b_t , c_t y d_t en la frecuencia deseada deben interpolarse linealmente entre las frecuencias del archivo de datos Tmr_approx.txt, que forma parte integrante de esta Recomendación. El archivo de datos contiene los coeficientes a_t , b_t , c_t y d_t en las columnas 2, 3, 4 y 5, respectivamente, para las frecuencias entre 1 GHz y 200 GHz, en incrementos de 0,5 GHz, de la columna 1.



Tmr_approx.txt

3.1.2 Método de predicción de la temperatura de brillo estadística

La temperatura de brillo del cielo estadística, $T_B(f, p)$, K, puede predecirse para cualquier frecuencia, ángulo de elevación, emplazamiento en la superficie de la Tierra y probabilidad de rebasamiento (FDAC), p , %, a partir de la atenuación total (excluido el desvanecimiento por centelleo) en función de la probabilidad de rebasamiento y de los valores medios de superficie totales de presión (barométrica), temperatura y densidad de vapor de agua en el emplazamiento en cuestión utilizando la siguiente fórmula:

$$T_B(f, p) = 2,73 \cdot 10^{-\frac{A_T(f, p, \theta)}{10}} + T_{mr}(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) \cdot \left(1 - 10^{-\frac{A_T(f, p, \theta)}{10}}\right) \quad (\text{K}) \quad (12)$$

donde:

$$T_{mr}(f, \bar{P}_s, \bar{T}_s, \bar{\rho}_{w_s}) = \begin{cases} a_t(f) + b_t(f) \cdot \bar{T}_s + c_t(f) \cdot \bar{P}_s + d_t(f) \cdot \bar{\rho}_{w_s}, & \text{sin lluvia} \\ 275, & \text{con lluvia} \end{cases} \quad (\text{K}) \quad (13)$$

y:

- f : frecuencia, en GHz, sin lluvia: $1 \leq f \leq 200$ GHz;
con lluvia: $1 \leq f \leq 55$ GHz
- \bar{P}_s : presión (barométrica) media total de superficie, en hPa, en el emplazamiento deseado
- \bar{T}_s : temperatura media de superficie, en K, en el emplazamiento deseado
- $\bar{\rho}_{w_s}$: densidad de vapor de agua media de superficie, en g/m³, en el emplazamiento deseado
- θ : ángulo de elevación sobre la superficie de la Tierra en el emplazamiento deseado
- $A_T(f, p, \theta)$: atenuación atmosférica total, en dB, excluido el centelleo en la probabilidad de rebasamiento, p , en el trayecto oblicuo espacio-Tierra deseado.

Los coeficientes a_t , b_t , c_t y d_t en la frecuencia deseada deben interpolarse linealmente entre las frecuencias del archivo de datos Tmr_approx.txt, que forma parte integrante de esta Recomendación.

El archivo de datos contiene los coeficientes a_t , b_t , c_t y d_t en las columnas 2, 3, 4 y 5, respectivamente, para las frecuencias entre 1 GHz y 200 GHz, en incrementos de 0,5 GHz, de la columna 1.



Tmr_approx.txt

3.2 Ruido radioeléctrico debido a la atmósfera de la Tierra y la superficie de la Tierra para estaciones espaciales

La temperatura de brillo de la superficie de la Tierra considerada desde un ángulo de nadir particular puede calcularse utilizando la ecuación de transferencia radiactiva que describe la reflexión de la radiación atmosférica descendente y la emisión de radiación por la superficie de la Tierra.

Este cálculo supone la integración de la radiación descendente en todos los ángulos e incluye la atenuación atmosférica.

Puede simplificarse de la forma siguiente:

$$T = \varepsilon T_{surf} + \rho T_{atm} \quad (14)$$

siendo:

ε : emisividad efectiva de la superficie

ρ : coeficiente de reflexión efectivo

T_{sup} : temperatura física (K) de la superficie de la Tierra

T_{atm} : media ponderada de la temperatura de brillo del cielo.

Hasta unos 100 GHz, pero en particular por debajo de 10 GHz, el coeficiente de reflexión ρ generalmente toma un valor elevado y la emisividad ε un valor bajo.

En la Fig. 7a) se representan la emisividad y la temperatura de brillo de una superficie de agua lisa para polarizaciones vertical y horizontal y para dos ángulos de incidencia. Puede observarse que en frecuencias superiores a 5 GHz no existe diferencia entre agua dulce y salada.

En la Fig. 7b) se representan la temperatura de brillo de nadir de la superficie del mar para tres frecuencias en función de la temperatura física de dicha superficie y para una salinidad de 36×10^{-3} .

En las Figs. 7c) y 7d) se representa el incremento de la temperatura de brillo de la superficie del mar con la velocidad del viento; este parámetro constituye una herramienta muy útil para la detección de tormentas.

Las emisividades (y por consiguiente las temperaturas de brillo) de las superficies terrestres son superiores que las de las superficies de agua debido al menor valor de las constantes dieléctricas en tierra. En la Fig. 8a) se representa la temperatura de brillo en un terreno liso para diversos contenidos de humedad; en la Fig. 8b) aparece la temperatura de brillo para distintos grados de rugosidad del terreno. Las curvas se han trazado para polarizaciones horizontal y circular. Si aumenta el contenido de humedad, la temperatura de brillo disminuye; si la rugosidad del terreno aumenta, la temperatura de brillo hace lo propio.

En la Fig. 9 se muestran los cálculos de las temperaturas de brillo vistas desde la órbita de los satélites geoestacionarios por un satélite que utiliza un haz de cobertura de la Tierra (la Tierra ocupa el haz principal entre puntos de 3 dB). A medida que el satélite se desplaza alrededor de su órbita, puede observarse el efecto de la masa de tierra africana (caliente) a 30° de longitud Este y del Océano Pacífico (frío) entre 180° y 150° de longitud Oeste. La temperatura de brillo aumenta con la frecuencia, debido fundamentalmente a la absorción gaseosa. Las curvas corresponden a la atmósfera típica de los Estados Unidos de América, con 2,5 g/m³ de vapor de agua y una nubosidad del 50%. El diagrama de antena para cobertura de la Tierra viene dado por $G(\varphi) = -3(\varphi/8,715)^2$ dB para $0 \leq \varphi \leq 8,715$, siendo φ el ángulo con respecto al eje de puntería.

FIGURA 6

Fracción del tiempo en que la temperatura de ruido del cielo hacia el cenit (brillo) es igual o menor al valor de abscisas para un año típico

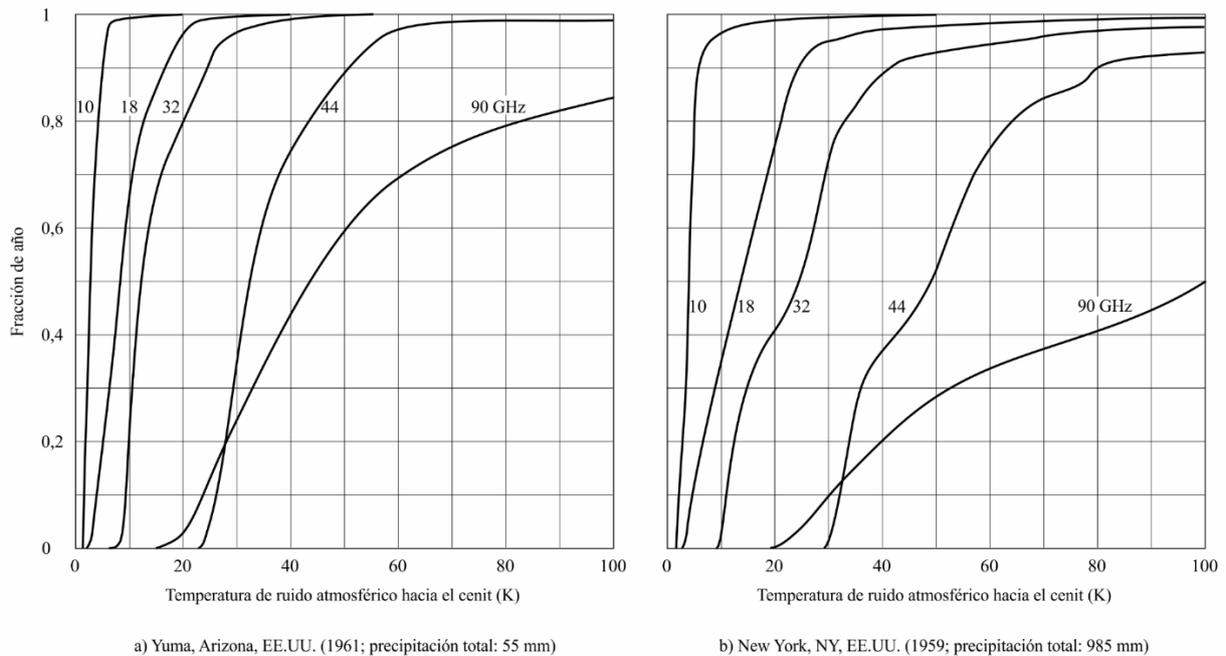
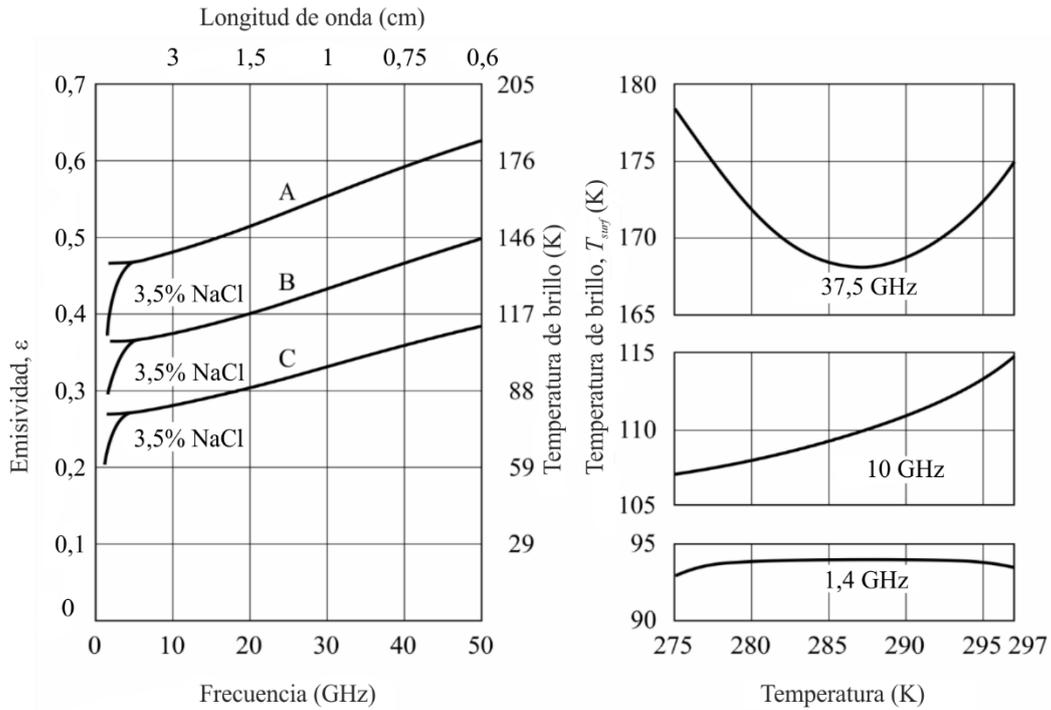


FIGURA 7

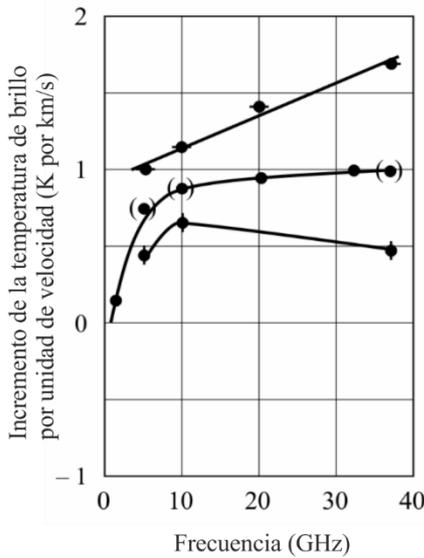
Variaciones de la emisividad y de la temperatura de brillo de la superficie del mar



a) Emisividad de una superficie de agua lisa

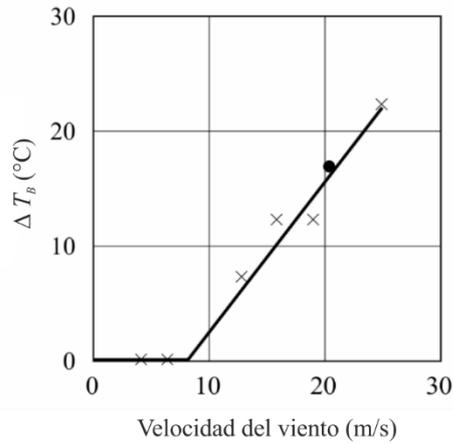
- A: polarización vertical
- B: ángulos de incidencia de 45° y 0°
- C: polarización horizontal

b) Temperatura de brillo de la superficie del mar en función de la temperatura de la superficie del mar (nadir) para una salinidad de 36×10^{-3}



c) Espectro del incremento de la temperatura de brillo causado por el viento en la superficie del océano

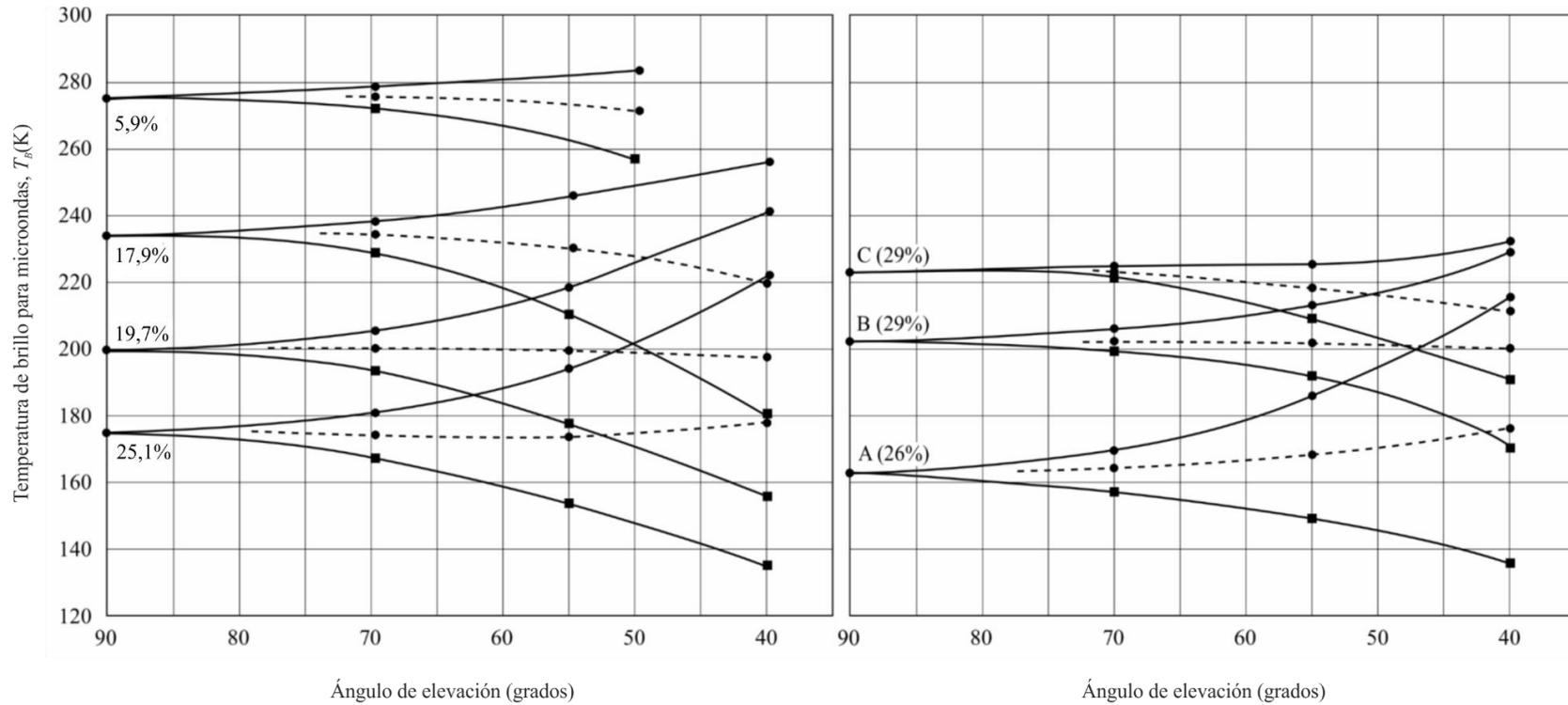
- Nadir
- ♣ Polarización vertical (38°)
- ◆ Polarización horizontal (38°)
- ⊙ Deducido



d) Incremento de la temperatura de brillo de la superficie del océano 19,35 GHz debido a la velocidad del viento

- × Atlántico, Mar del Norte
- Mar de Salton

FIGURA 8
 Temperatura de brillo del suelo a 1 430 MHz en función del ángulo de elevación

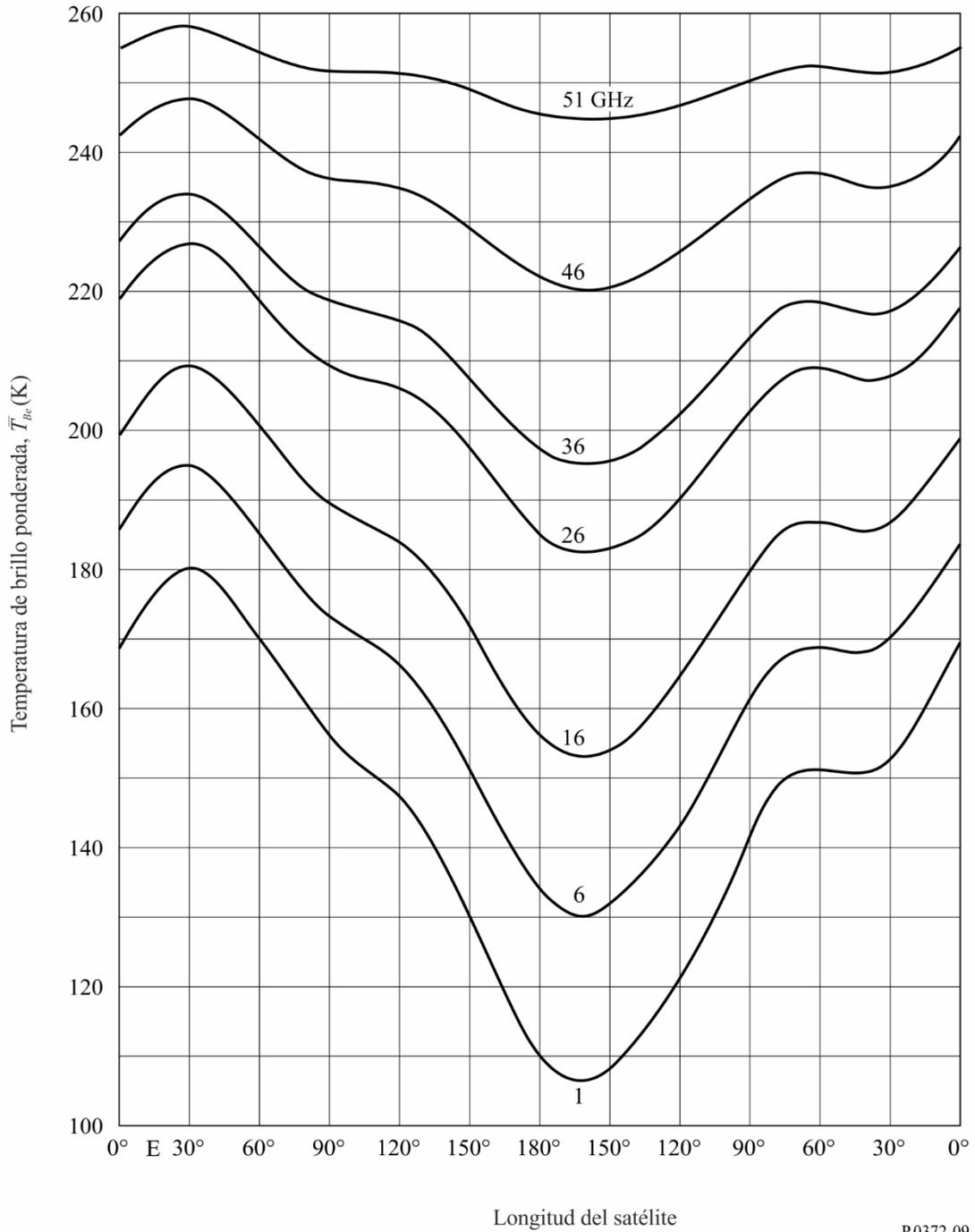


a) Para un contenido de humedad de 5,9% a 25,1% en un terreno pelado y liso

b) Para (A) terreno liso (B) rugosidad media y (C) terreno rugoso (profundamente arado) con el porcentaje de contenido de agua indicado

- Polarización vertical, T_{BV}
- Polarización horizontal, T_{BH}
- - -●- - - Polarización circular, $1/2 (T_{BV} + T_{BH})$

FIGURA 9
 Temperatura de brillo ponderada de la Tierra en función de la longitud
 vista desde la órbita de los satélites geostacionarios
 a frecuencias de 1 y 51 GHz



PARTE 4

Temperatura de brillo debida a fuentes extraterrestres**4.1 Temperatura de brillo debida a fuentes extraterrestres**

Por regla general, para las comunicaciones a frecuencias inferiores a 2 GHz, debe considerarse el Sol y la galaxia (la Vía Láctea), que aparece como un amplio cinturón de fuerte emisión. Para frecuencias de hasta unos 100 MHz, el factor de ruido mediano para el ruido galáctico, despreciando los efectos de la pantalla ionosférica, viene dado por:

$$F_{am} = 52 - 23 \log f \quad \text{dB} \quad (15)$$

donde:

f : frecuencia (MHz).

Las desviaciones del decilo de la potencia de ruido galáctico medio son ± 2 dB.

En estas circunstancias, la variación de los decilos superior e inferior del ruido galáctico es de 2 dB.

El ruido galáctico no se observará a frecuencias inferiores a foF2 y será inferior al valor dado por la ecuación (16) para frecuencias de hasta tres veces foF2 aproximadamente.

Por encima de 2 GHz, sólo hay que considerar el Sol y algunas fuentes no térmicas de gran intensidad como Cassiopeia A, Cisne A y X y la nebulosa de Cáncer, ya que el fondo cósmico contribuye solamente con 2,7 K y la Vía Láctea aparece como una zona estrecha de intensidad ligeramente mayor. En la Fig. 10 se representa la gama de temperaturas de brillo para las fuentes de ruido extraterrestres más comunes en la gama de frecuencias de 0,1 a 100 GHz.

Las Figs. 11a, 11b, 11c y 11d indican la temperatura de cielo radioeléctrico total a 408 MHz simplificando a una resolución angular de 5°. Estas Figuras se representan en coordenadas ecuatoriales: declinación δ (latitud) y ascensión recta α (horas hacia el Este alrededor del Ecuador a partir del equinoccio de primavera). Los contornos están directamente expresados en K por encima de 2,7 K. La precisión es de 1 K. Los intervalos de los contornos son:

- 2 K por debajo de 60 K;
- 4 K desde 60 K a 100 K;
- 10 K desde 100 K a 200 K;
- 20 K por encima de 200 K.

En las líneas de contorno que no llevan indicación, las flechas apuntan en el sentido de las agujas del reloj en torno a un mínimo de la distribución del brillo.

La curva sinusoidal discontinua entre $\pm 23,5^\circ$ de las Figs. 11a y 11d define la eclíptica que cruza la Vía Láctea cerca del centro galáctico. Ello significa que si se observa un vehículo espacial en el espacio interplanetario, quizás sea preciso tener este elemento en cuenta. Las fuentes puntuales de mayor intensidad se indican con crestas estrechas para la distribución de la temperatura mientras que las fuentes de menor intensidad son menos aparentes debido a la resolución angular limitada.

La radiación del fondo galáctico varía con la frecuencia. Para obtener las temperaturas de brillo a otras frecuencias, f_i , con radiación de fondo debe emplearse la expresión:

$$T_b(f_i) = T_b(f_0) (f_i/f_0)^{-2,75} + 2,7 \quad \text{K} \quad (16)$$

Así, para $T_b = 200$ K, $f_0 = 408$ MHz y $f_i = 1$ GHz; esta extrapolación daría:

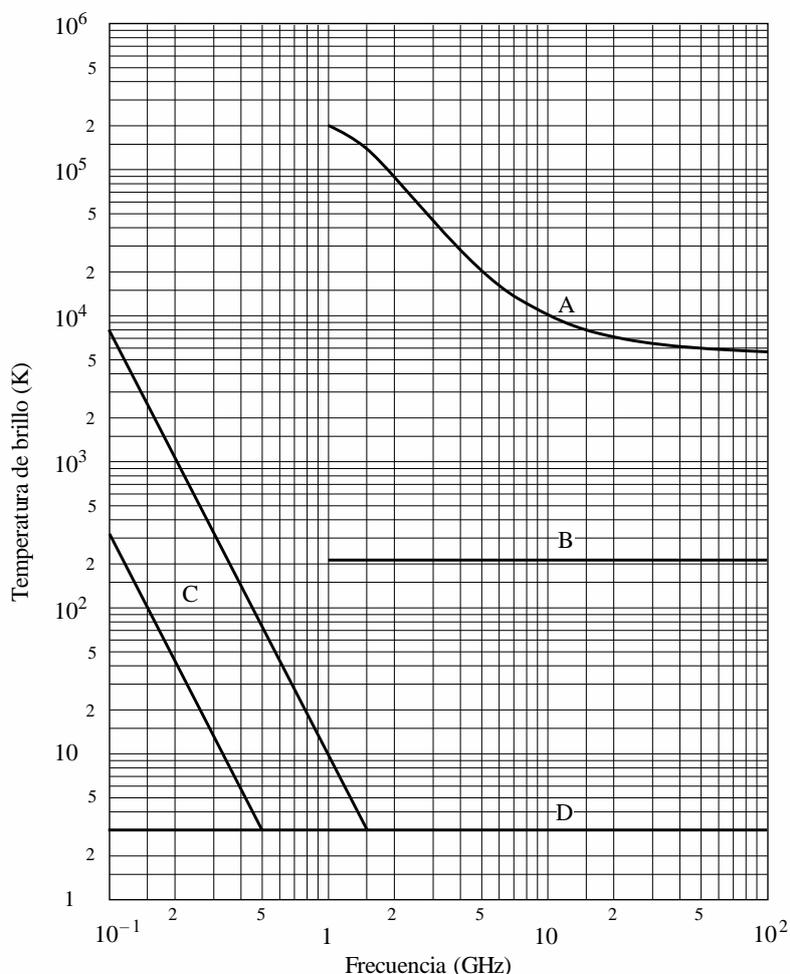
$$T_b = 19,7 \quad \text{K}$$

Para hacer extrapolaciones más precisas utilizando esta fórmula es necesario tener en cuenta las variaciones del exponente en función de la gama de frecuencias y del cielo. En el caso de fuentes puntuales, la variación de la intensidad con la frecuencia depende de sus diferentes condiciones físicas.

En las telecomunicaciones que utilizan satélites geoestacionarios, tiene interés especial una parte limitada del cielo, como se indica en la Fig. 12 a). La Fig. 12 b) muestra la gama correspondiente de declinaciones ($\pm 8,7^\circ$) e indica las fuentes más intensas.

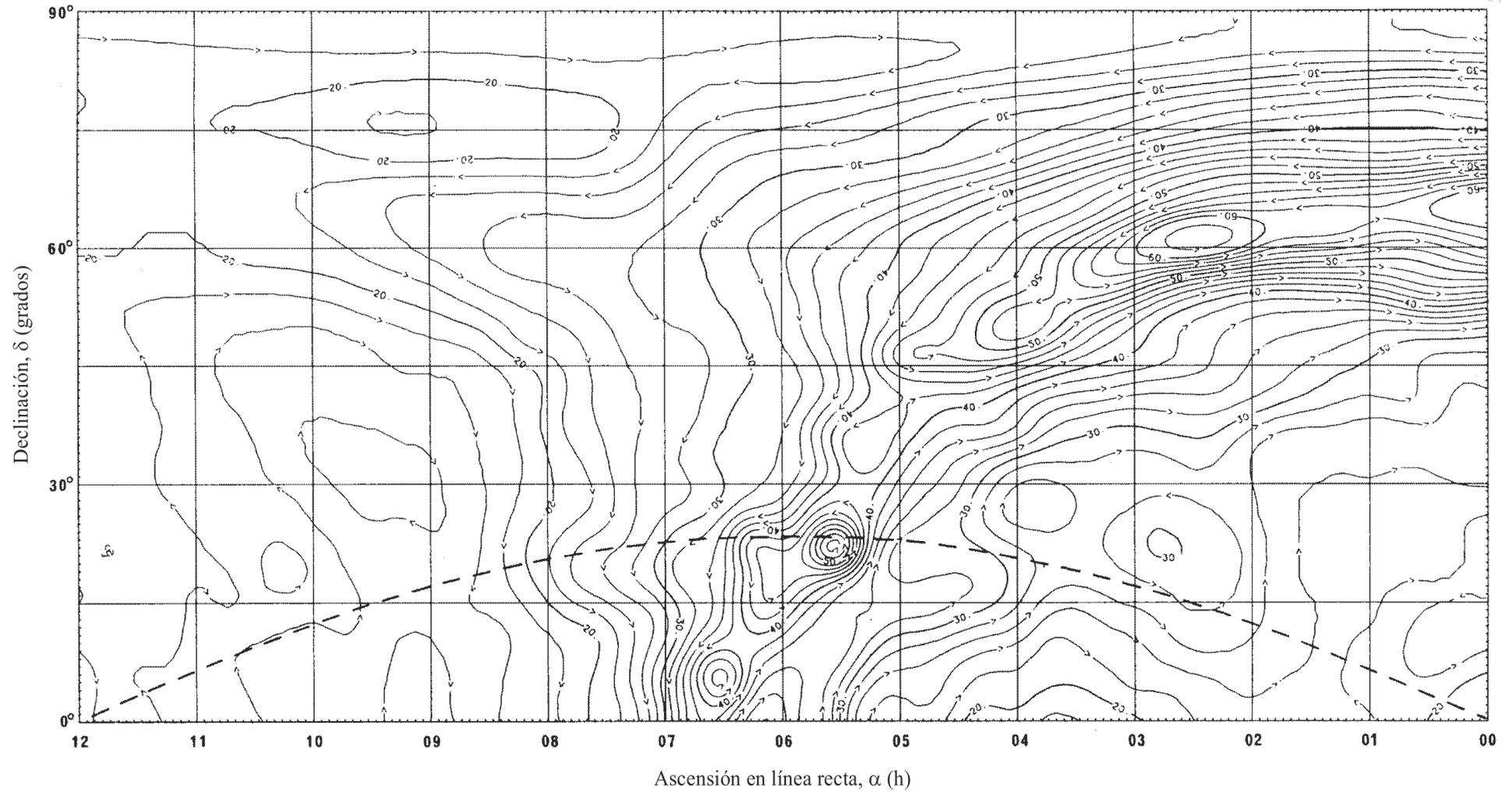
El Sol es una importante fuente de ruido variable con una temperatura de ruido de unos 10^6 K entre 50 y 200 MHz y de al menos 10^4 K a 10 GHz en condiciones de calma solar y grandes incrementos en los periodos de actividad solar. La temperatura de brillo de la Luna es casi independiente de la frecuencia por encima de 1 GHz; varía en unos 140 K durante la fase de la Luna nueva y hasta 280 K durante la de Luna llena. El trayecto del Sol se encuentra en el plano de la eclíptica (línea de trazos de la Fig. 11). La Luna se observa con $\pm 5^\circ$ de declinación con respecto al plano de la eclíptica.

FIGURA 10
Fuentes de ruido extraterrestre



- A: sol en reposo } diámetro ~ 0,5°
- B: luna }
- C: gama de ruido galáctico
- D: ruido de fondo cósmico

FIGURA 11a
Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz

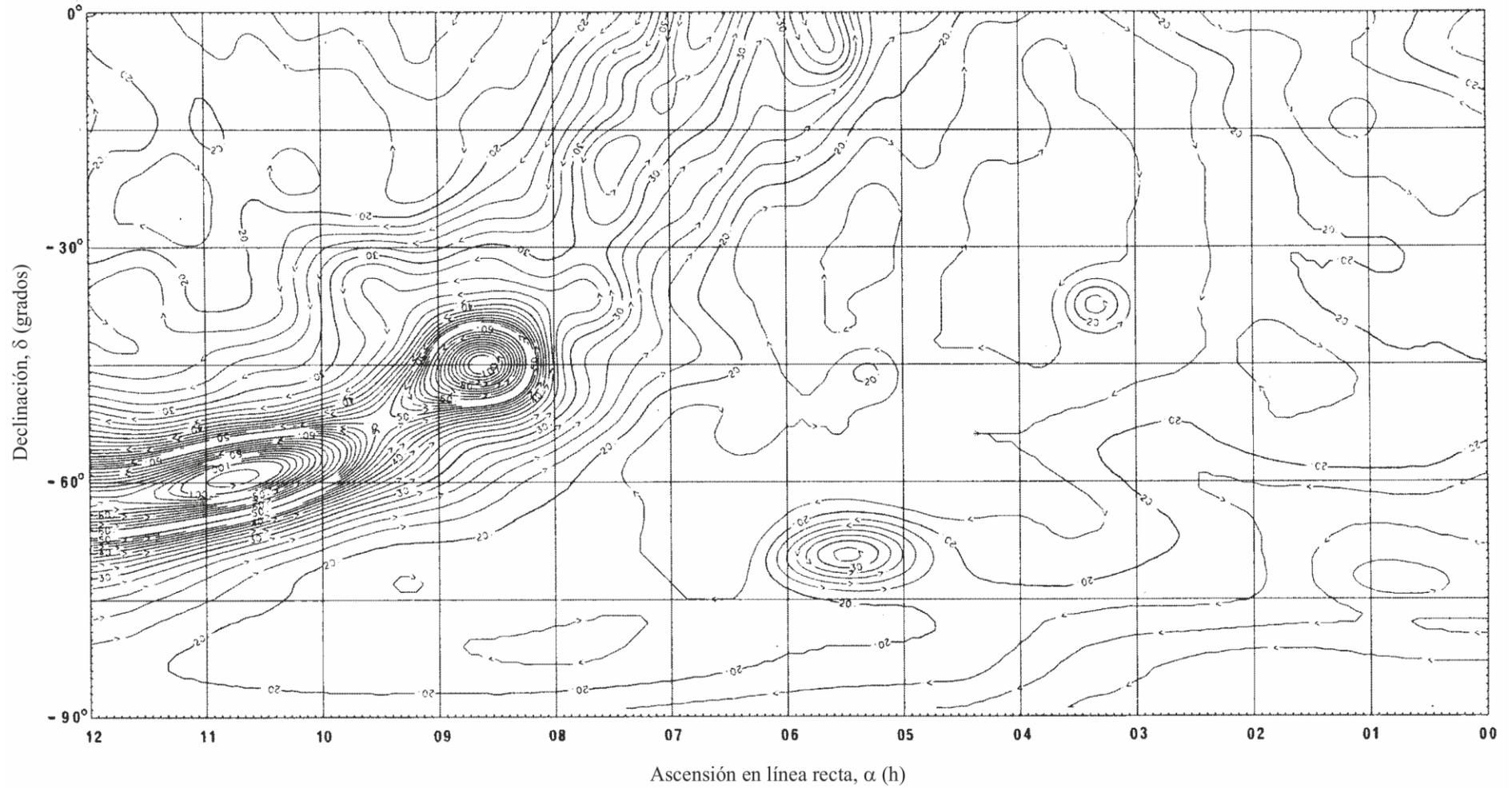


Ascensión en línea recta 0000 h a 1200 h, declinación 0° a +90°, curva de trazos; eclíptica

P.0372-11a

FIGURA 11b

Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz

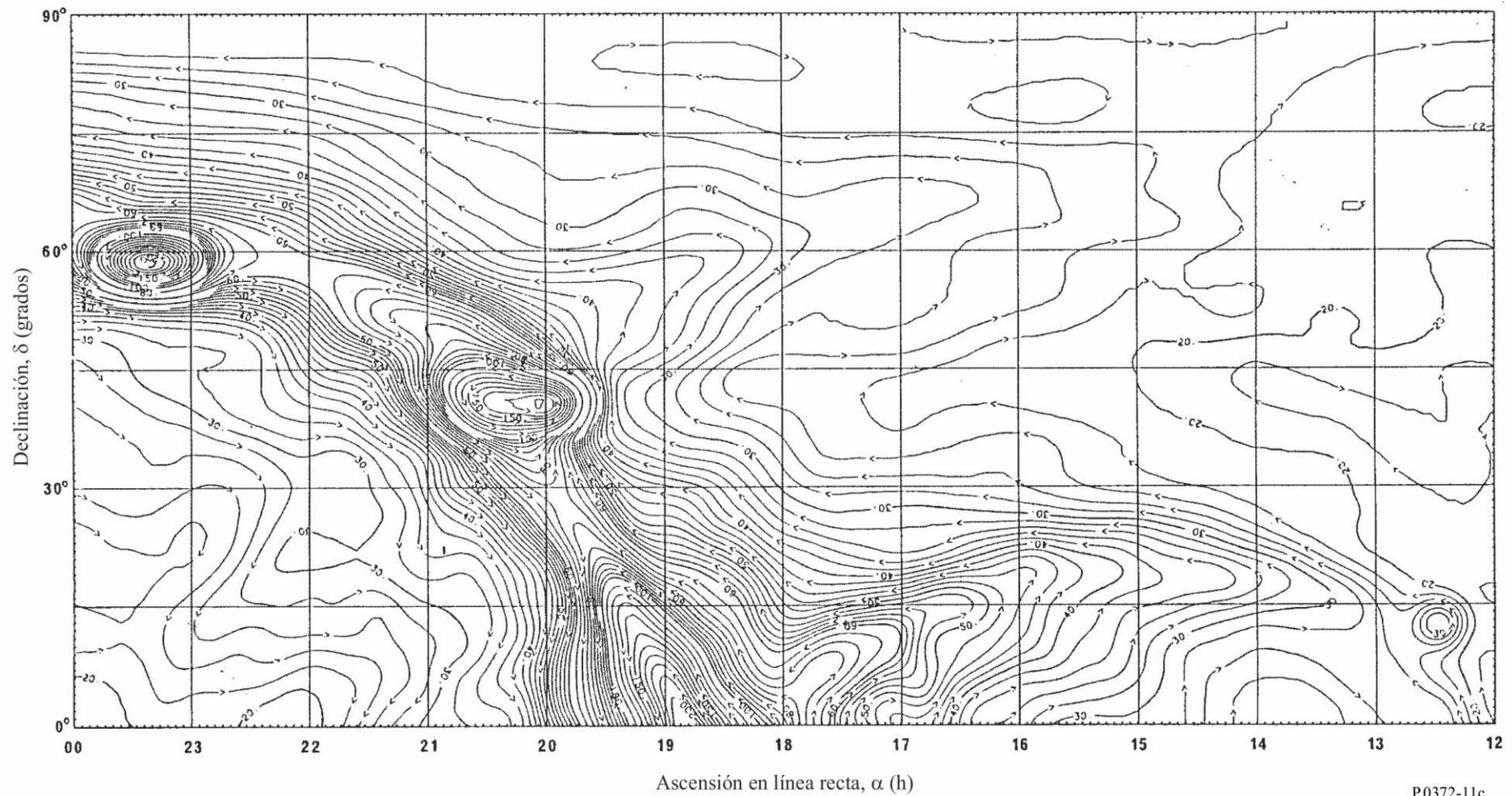


Ascensión en línea recta 0000 h a 1200 h, declinación 0° a -90°

P.0372-11b

FIGURA 11c

Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz

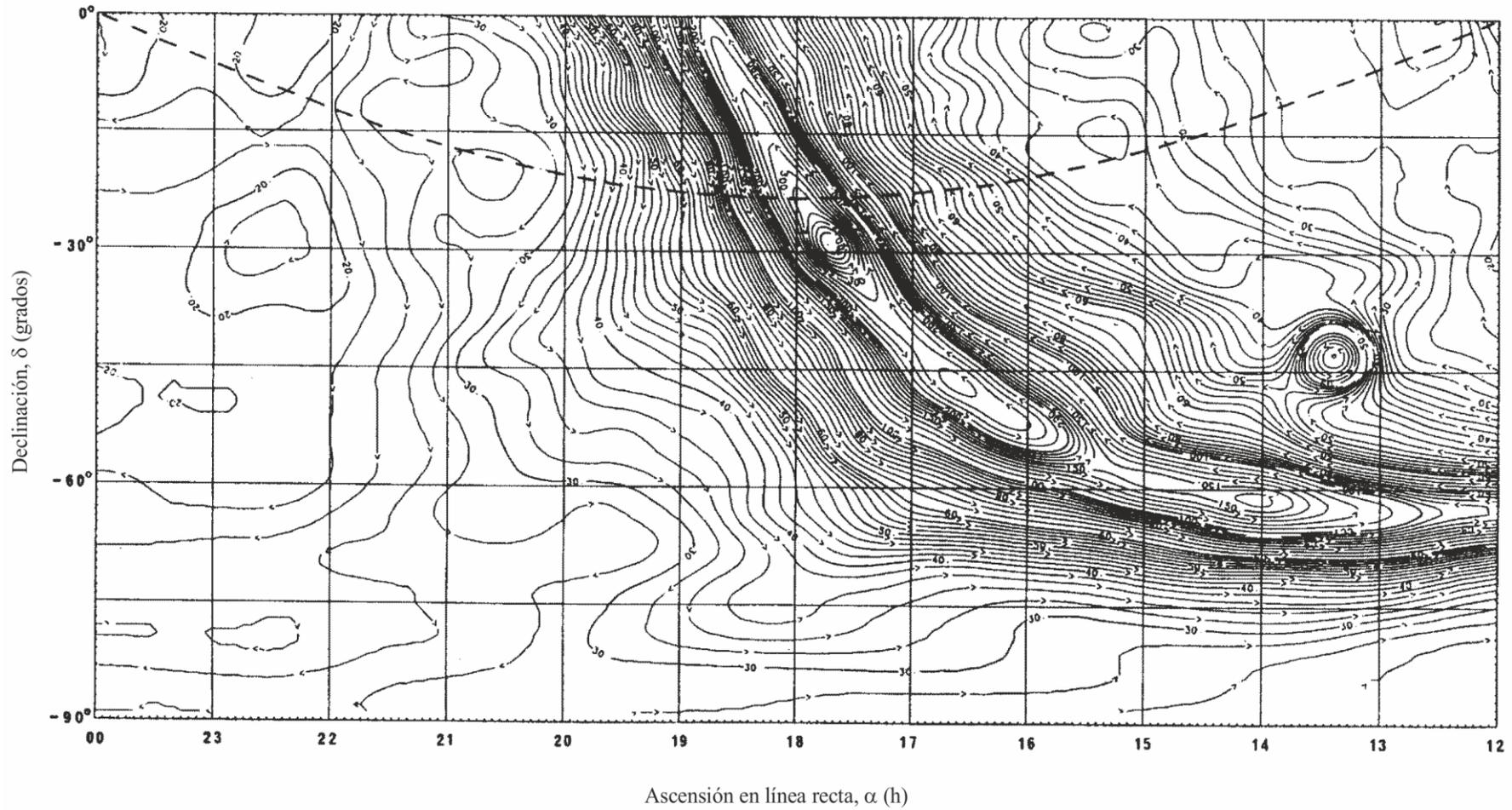


P0372-11c

Ascensión en línea recta 1200 h a 2400 h, declinación 0° a +90°

FIGURA 11d

Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz

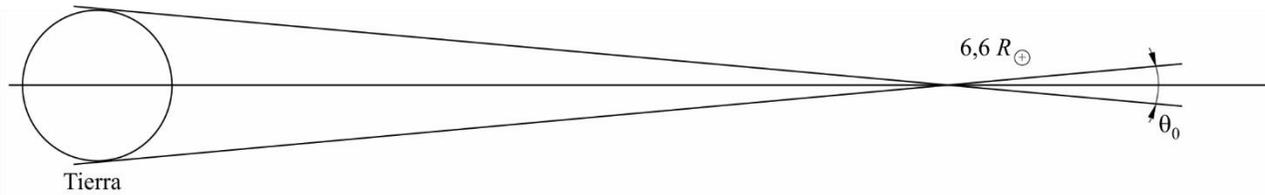


Ascensión en línea recta 1200 h a 2400 h, declinación 0° a -90° , curva de trazos; eclíptica

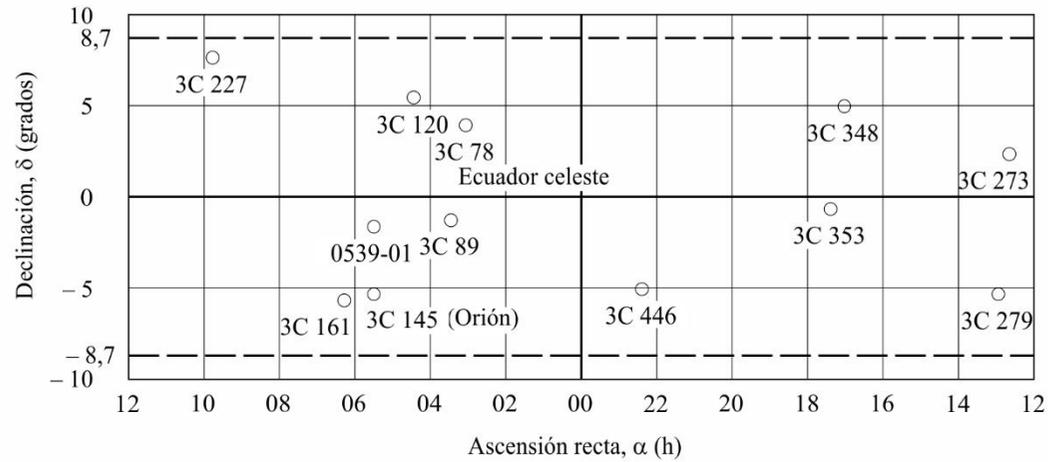
P.0372-11d

FIGURA 12

Parte del cielo que interesa para las telecomunicaciones con satélites geoestacionarios



a) La órbita de los satélites geoestacionarios vista desde la Tierra mostrando θ_0 (R_{\oplus} : radio medio de la Tierra)



b) Ubicaciones de las fuentes radioeléctricas más fuertes (○) para una gama de $\pm 8,7^\circ$ en torno al Ecuador celeste. Los números se refieren a designaciones de catálogo, por ejemplo, 3C indica third Cambridge.

PARTE 5

Ruido atmosférico debido al rayo**5.1 Ruido atmosférico debido al rayo**

En las Figs. 13a a 36a del ruido radioeléctrico atmosférico de fondo se reproducen mapas mundiales con los valores medianos probables de la potencia de ruido medio, F_{am} (dB) por encima de $k T_0 b$, a 1 MHz para cada bloque de tiempo de tres meses y bloque de tiempo de 4 h (hora local). Los bloques de tiempo de tres meses son: 1) diciembre, enero, febrero; 2) marzo, abril, mayo; 3) junio, julio, agosto; 4) septiembre, octubre, noviembre. Los bloques horarios de 4 horas se refieren a la hora local, que son las mismas horas locales en diferentes regiones de 15° de longitud. En las Figs. 13b a 36b se representa la variación de F_{am} con la frecuencia para cada estación y bloque de tiempo y en las Figs. 13c a 36c se representa la variación con la frecuencia de los otros parámetros del ruido. La antena de referencia para estas estimaciones del ruido atmosférico es un monopolo vertical corto situado sobre un plano de tierra perfectamente conductor (la influencia de un plano de tierra perfectamente conductor se discute en la Recomendación UIT-R P.341, Anexo 2). Las estimaciones son las correspondientes al ruido atmosférico combinado desde todas las direcciones y no resulta apropiado tomar en consideración la directividad de las antenas reales. La intensidad de campo incidente puede obtenerse conforme a lo indicado en el § 2.

Cabe observar que se indican valores del ruido atmosférico inferiores a los niveles probables de ruido artificial y ruido galáctico. Estos valores deben utilizarse con precaución puesto que sólo representan estimaciones de los niveles de ruido atmosférico que se registrarían en ausencia de otros tipos de ruido. Sin embargo, un examen de los datos muestra que esos niveles de ruido bajo se midieron de hecho en muy pocas ocasiones.

El ruido atmosférico debido al rayo no tiene generalmente una distribución gaussiana y su función de densidad de probabilidad puede ser importante para determinar la calidad de funcionamiento de los sistemas digitales. La distribución de probabilidad de la amplitud de este tipo de ruido se describe mediante la desviación de tensión, V_d , que es la relación entre el valor eficaz y el valor medio de la tensión de la envolvente de ruido.

En la Fig. 37 pueden verse las curvas de la distribución de probabilidad de la amplitud correspondientes a diversos valores de V_d , en las cuales se toma como referencia la tensión eficaz de la envolvente, A_{ef} . Los valores medidos de V_d varían en torno a los valores predichos de la mediana, V_{dm} , y su variación viene dada por σ_{Vd} . Estas curvas pueden utilizarse para una amplia gama de anchuras de banda. Las estimaciones dadas de V_d (Figs. 13c a 36c) corresponden a una anchura de banda de 200 Hz y a partir de la Fig. 39 puede convertirse este valor de V_d a 200 Hz en los correspondientes valores de V_d para otras anchuras de banda. La Fig. 39 sólo es estrictamente válida en ondas hectométricas y decamétricas, por lo tanto, debe tenerse mucha precaución al aplicar estos resultados a frecuencias inferiores (por ejemplo en las bandas de ondas kilométricas, miriamétricas o decamiriamétricas).

Las Figuras se utilizan como se indica a continuación. El valor de F_{am} para 1 MHz se obtiene a partir de los mapas de ruido (Figs. 13a a 36a) para la estación considerada. Utilizando este valor como grado de ruido, se determina el valor de F_{am} para la frecuencia requerida a partir de las curvas de frecuencia (Figs. 13b a 36b). Los parámetros de variabilidad $\sigma_{F_{am}}$, D_u , σ_{D_u} , etc., se obtienen para la frecuencia en cuestión a partir de las Figs. 13c a 36c. Los valores de D y σ_D para otros porcentajes de tiempo pueden obtenerse suponiendo semidistribuciones log-normal a cada lado de los valores medianos.

FIGURA 13a
 Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
 (Dic-ene-feb; 0000-0400 hora local)

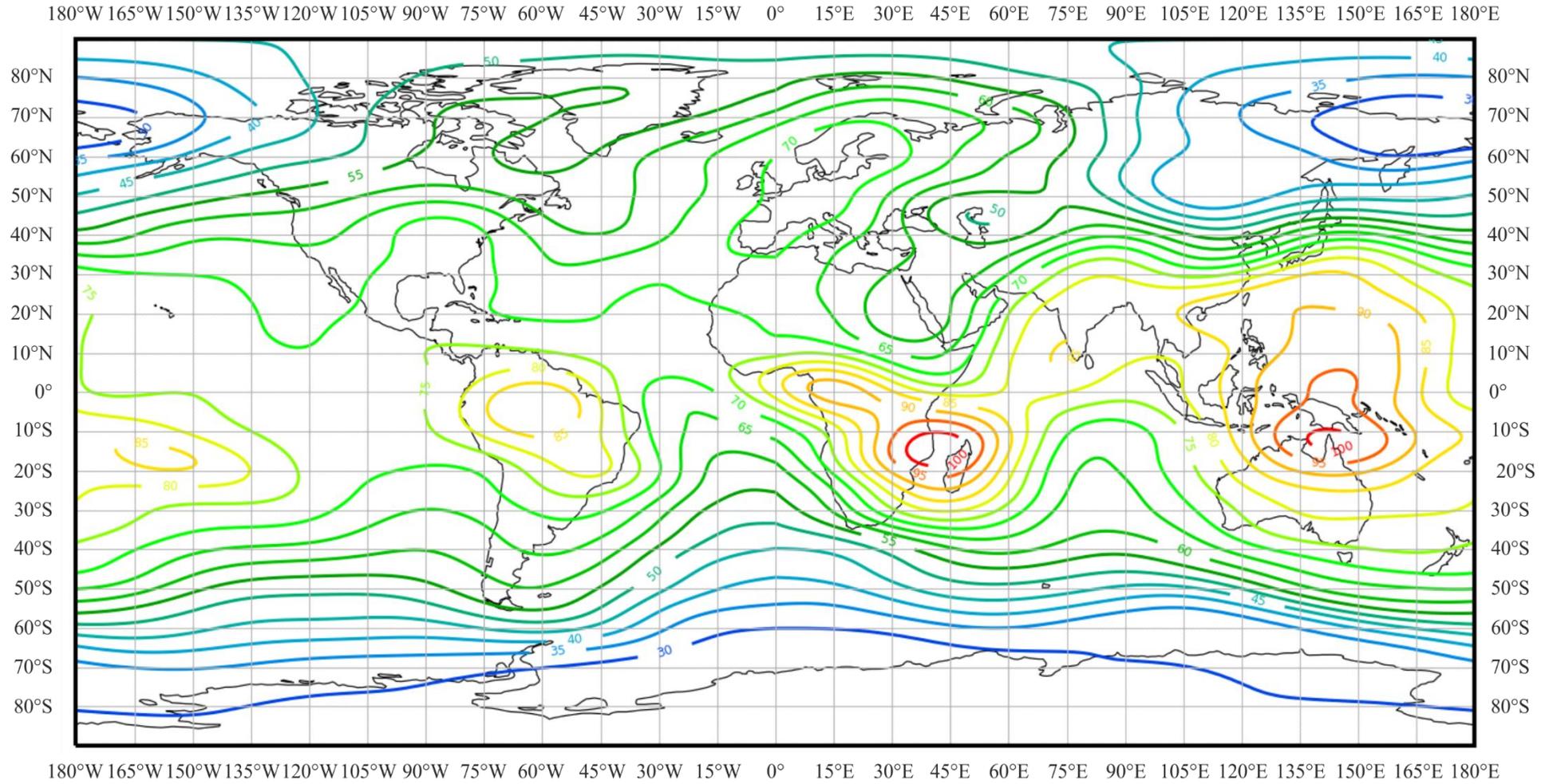


FIGURA 13b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 0000-0400 hora local)

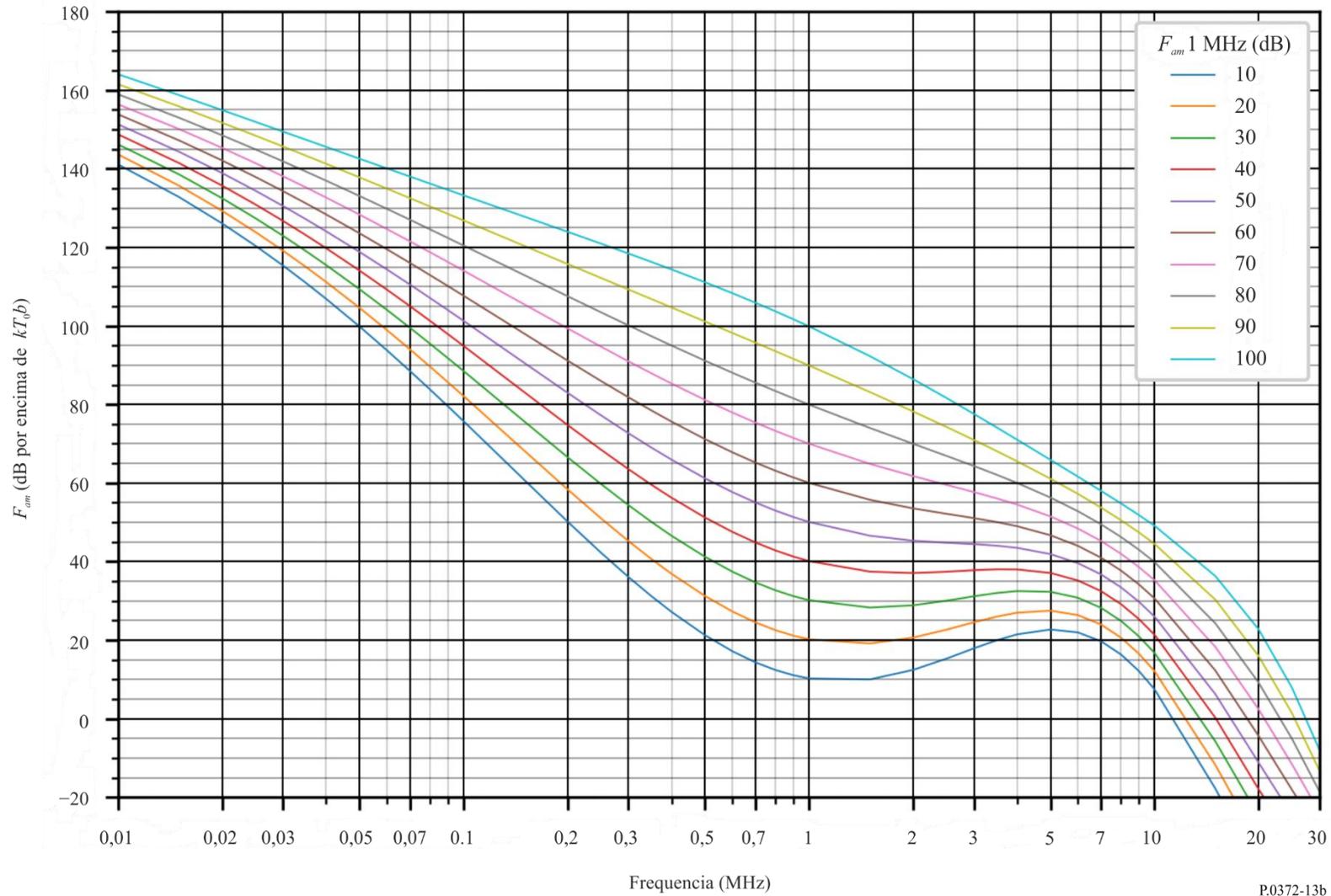


FIGURA 13c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago;0000-0400 hora local)

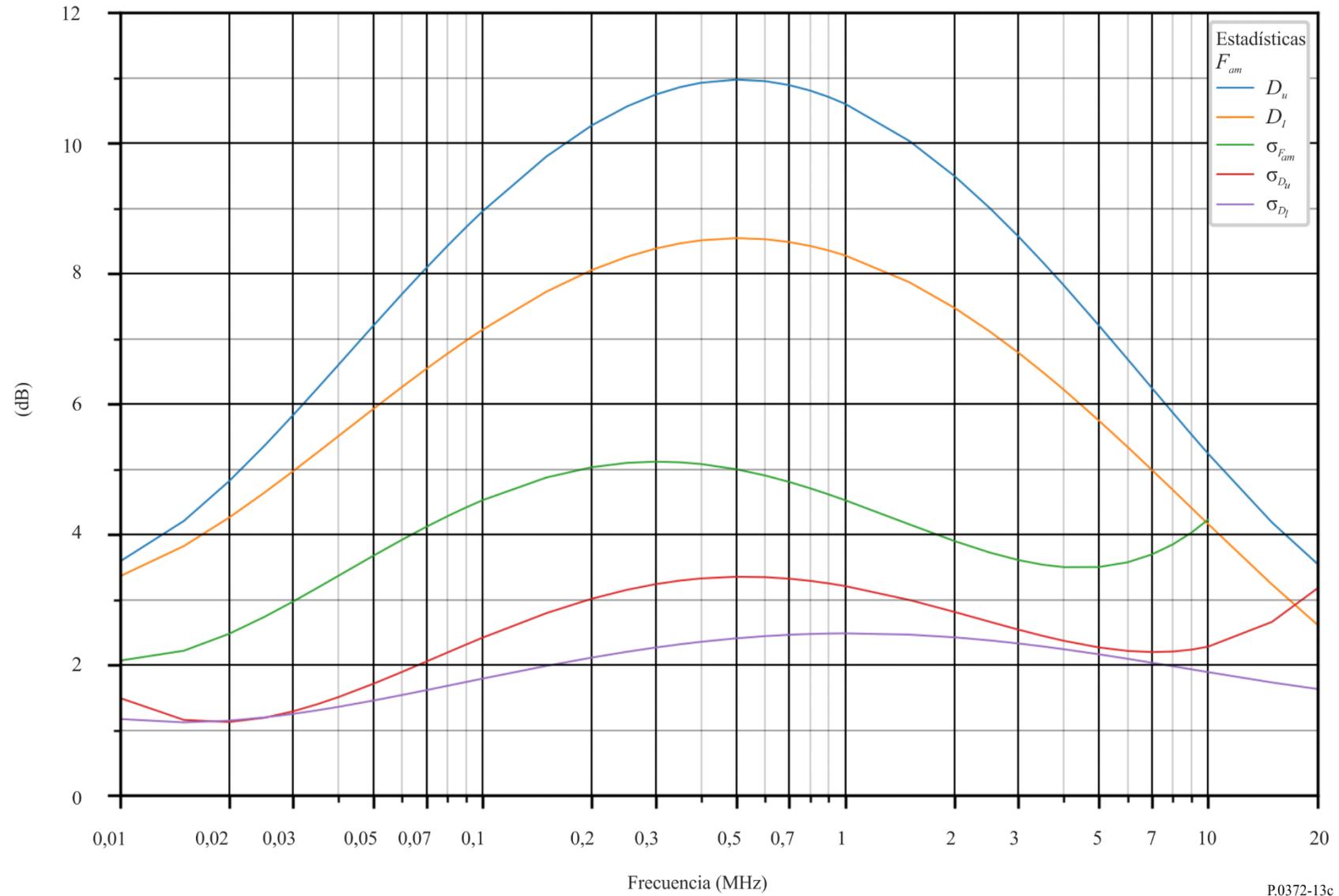


FIGURA 14a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Dic-ene-feb; 0400-0800 hora local)

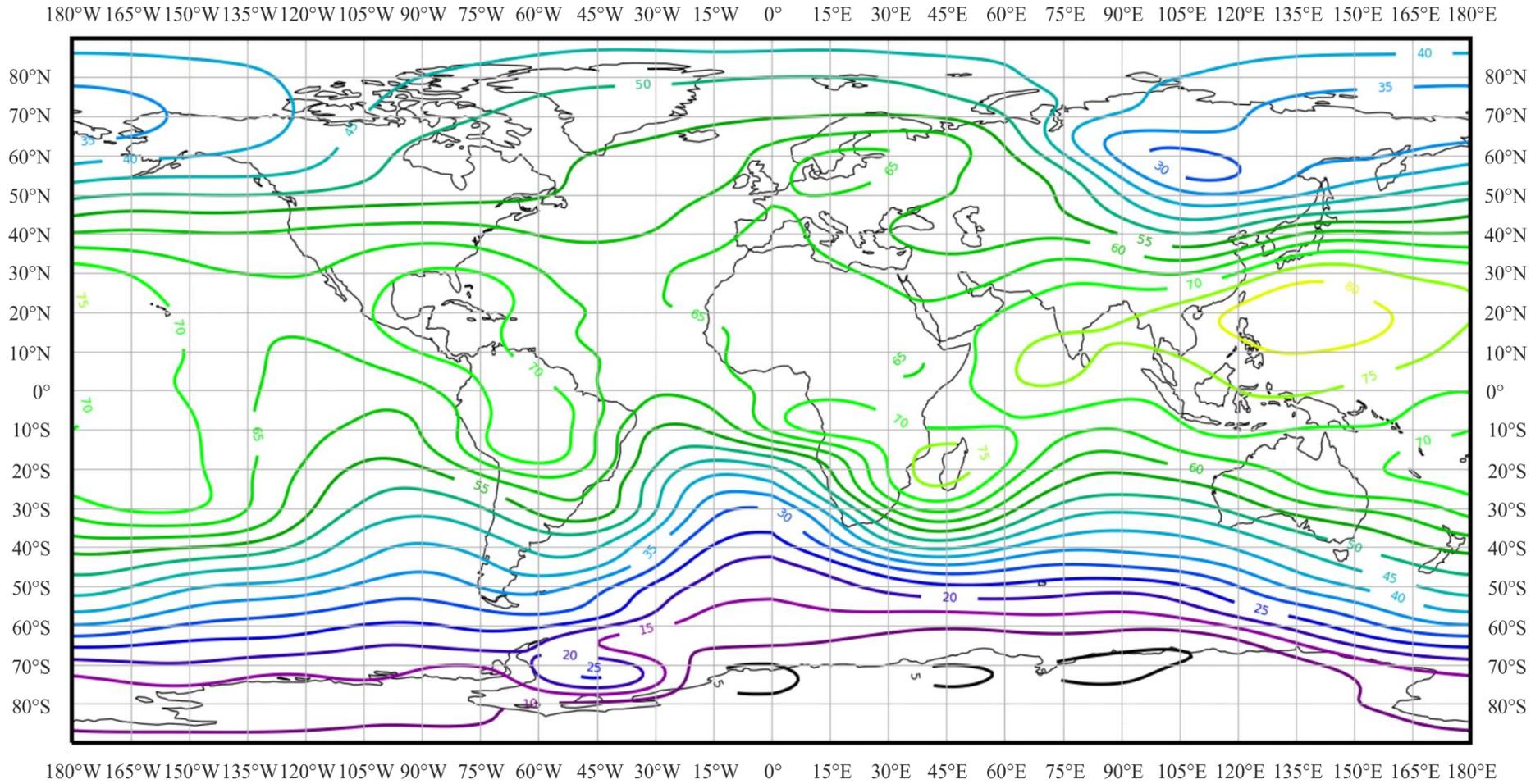


FIGURA 14b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 0400-0800 hora local)

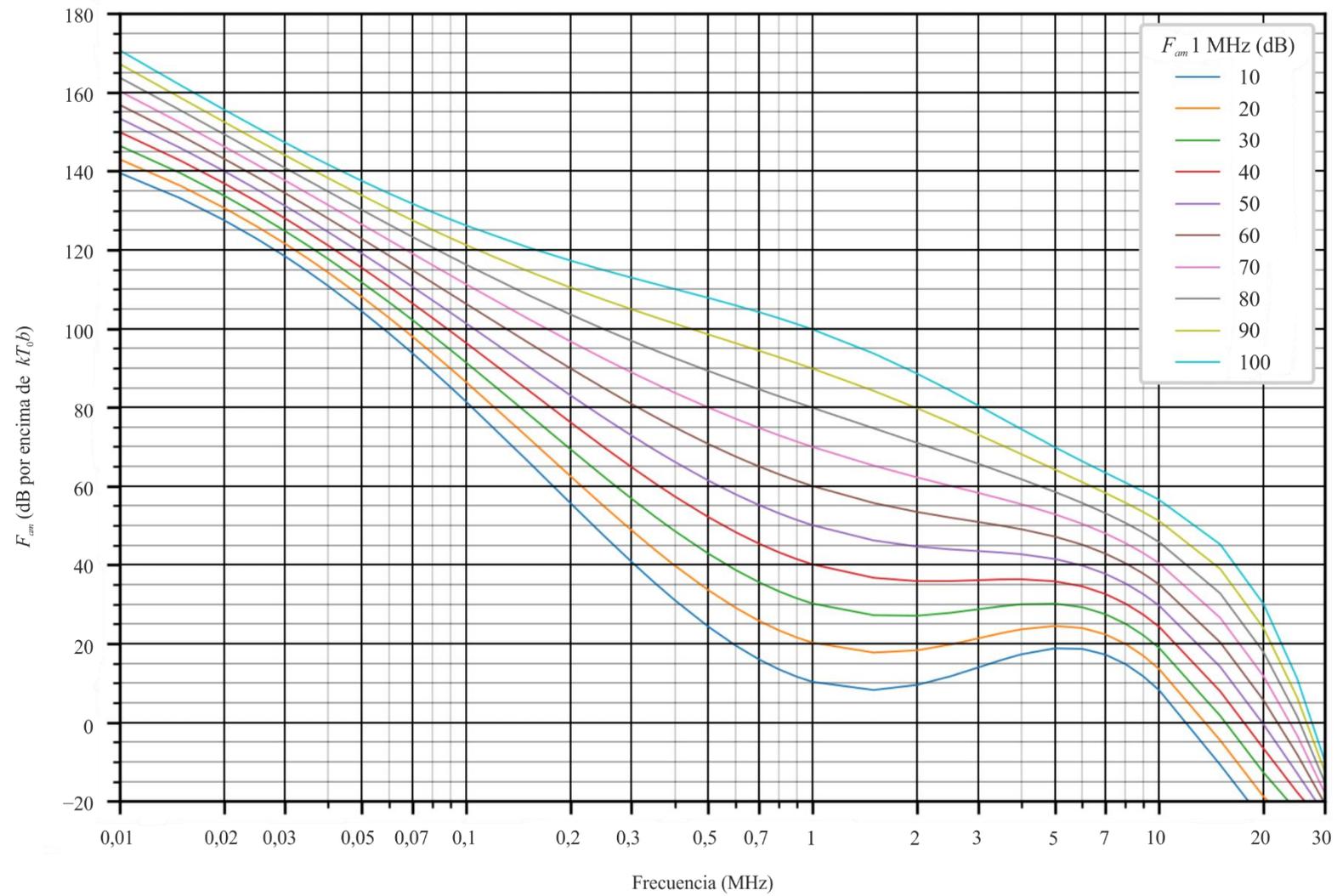


FIGURA 14c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 0400-0800 hora local)

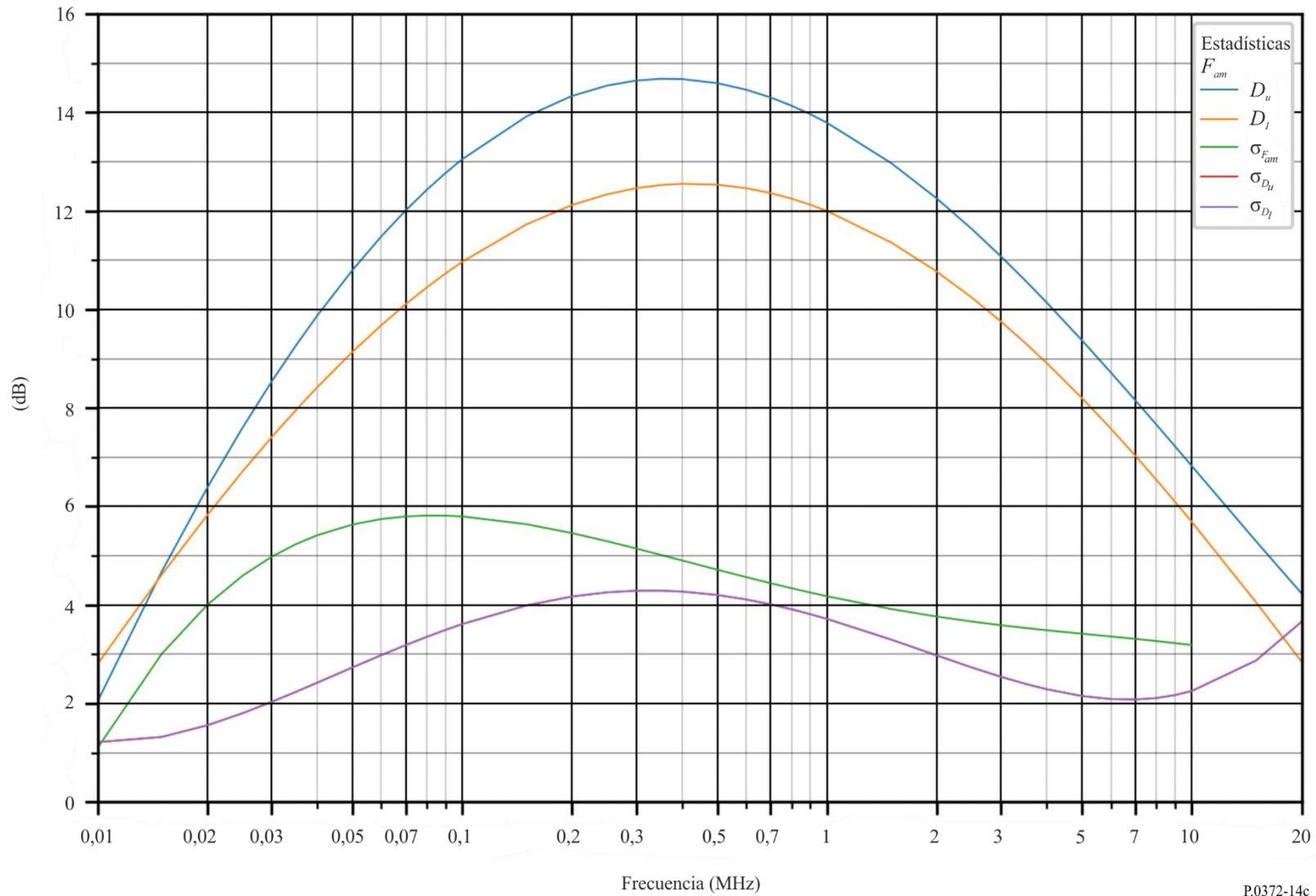


FIGURA 15a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Dic-ene-feb; 0800-1200 hora local)

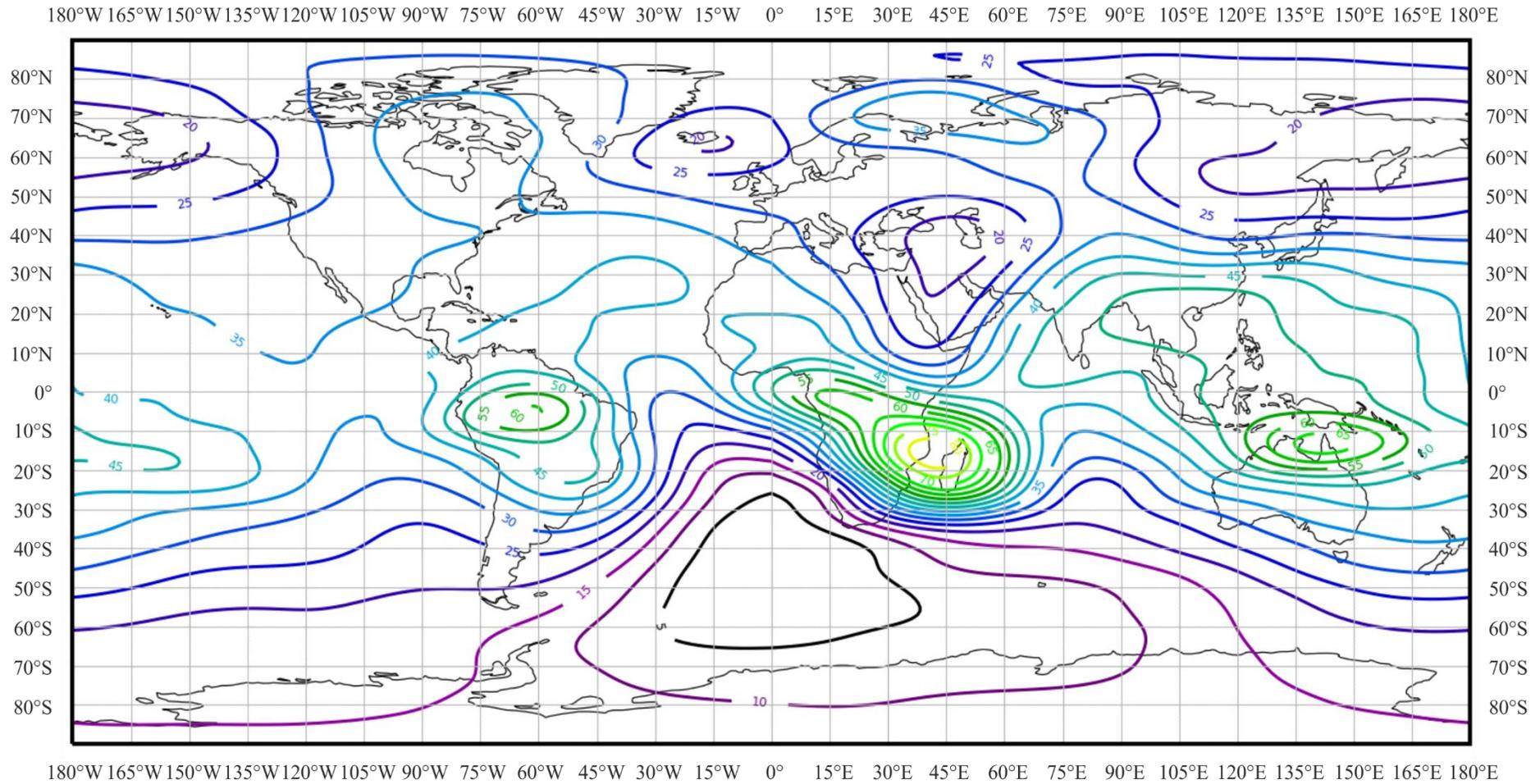


FIGURA 15b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 0800-1200 hora local)

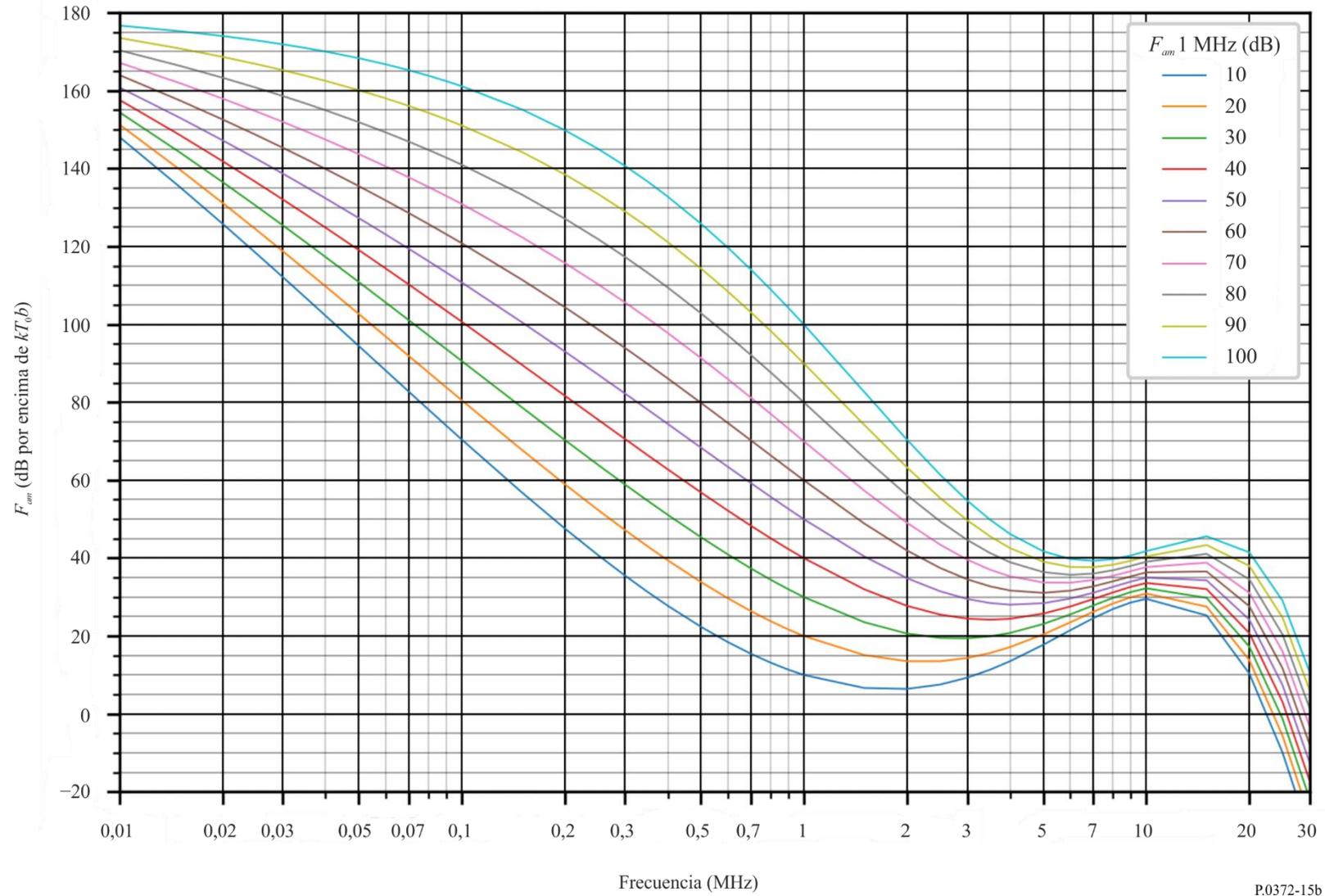


FIGURA 15c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 0800-1200 hora local)

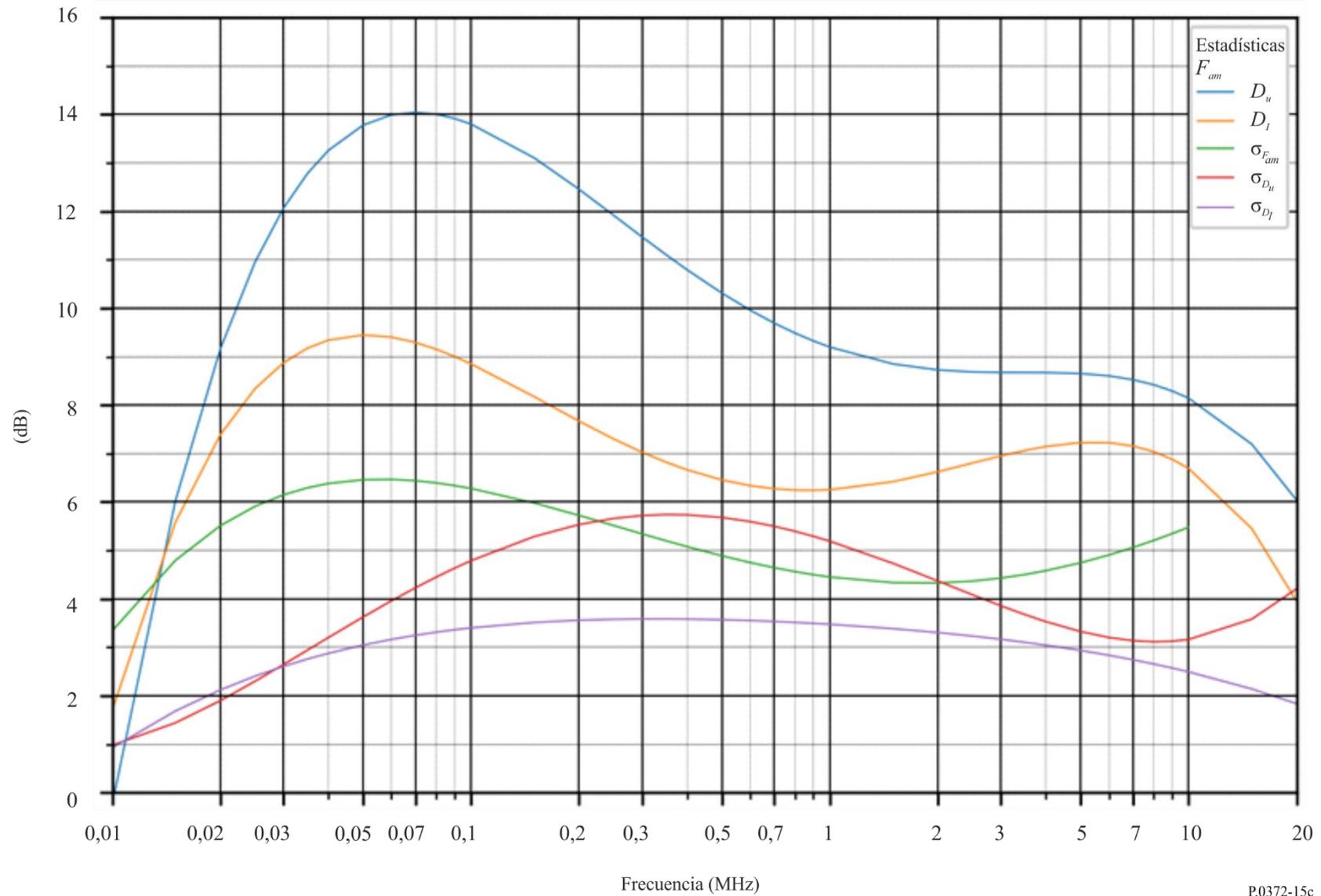


FIGURA 16a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Dic-ene-feb; 1200-1600 hora local)

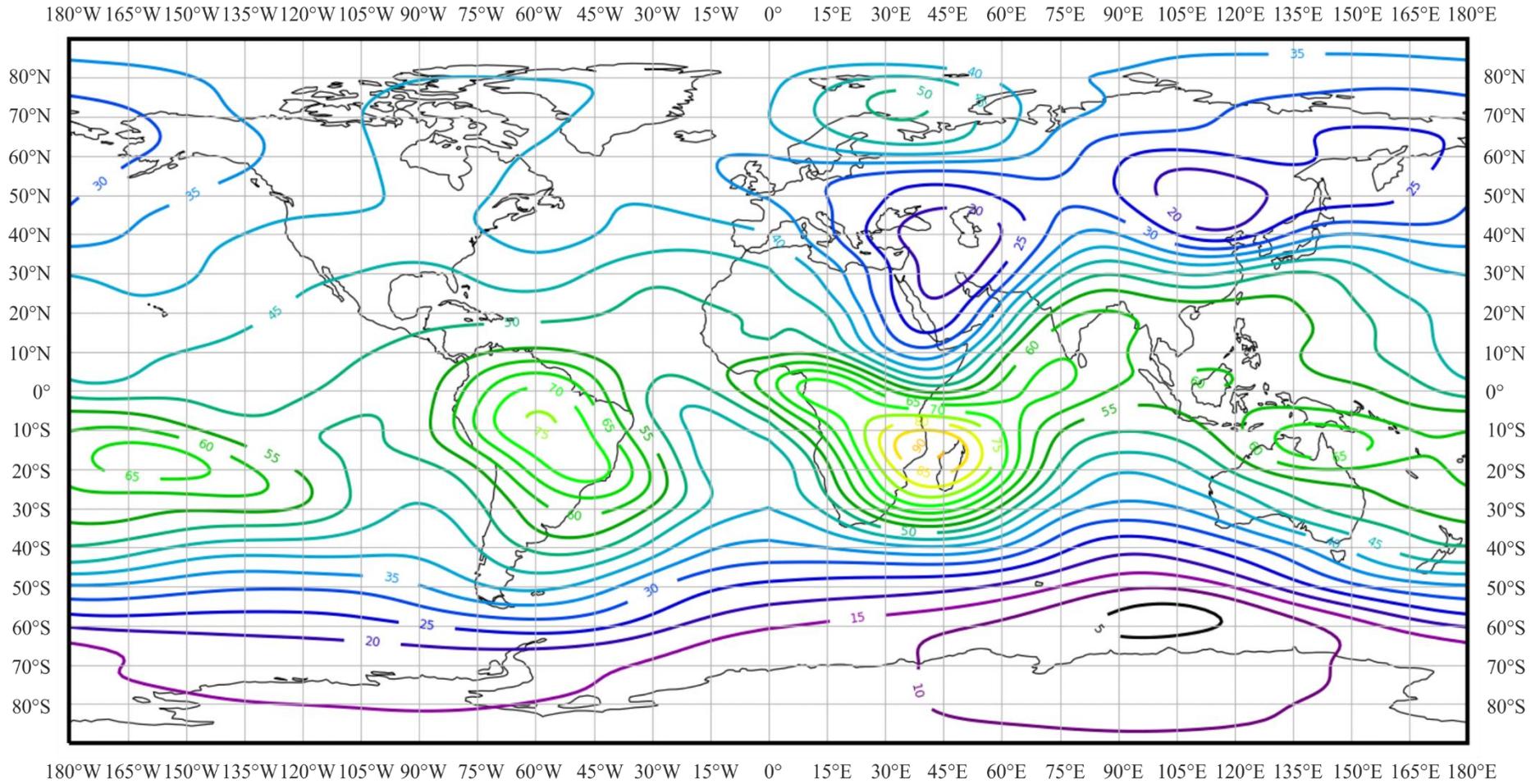


FIGURA 16b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
 (Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 1200-1600 hora local)

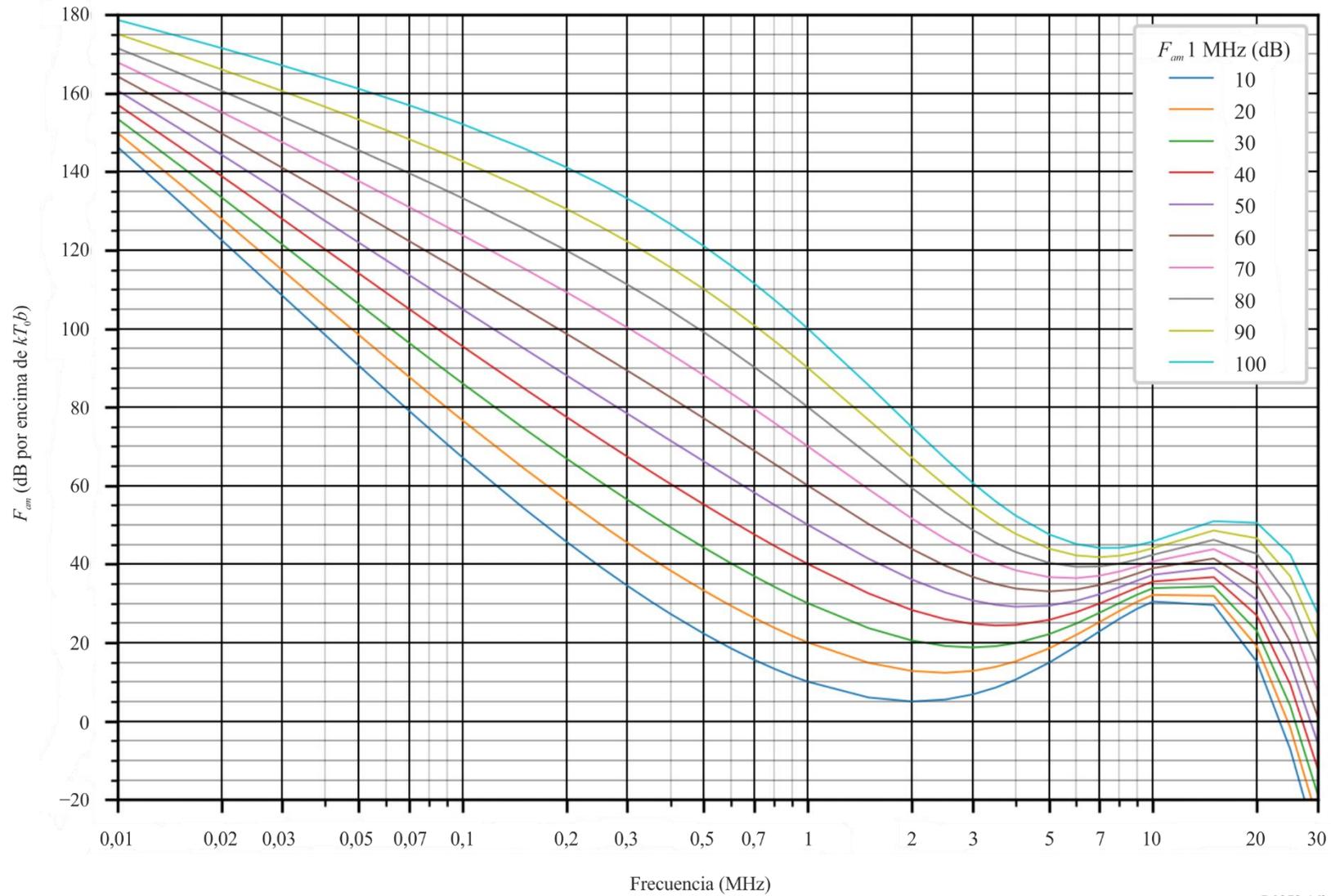


FIGURA 16c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 1200-1600 hora local)

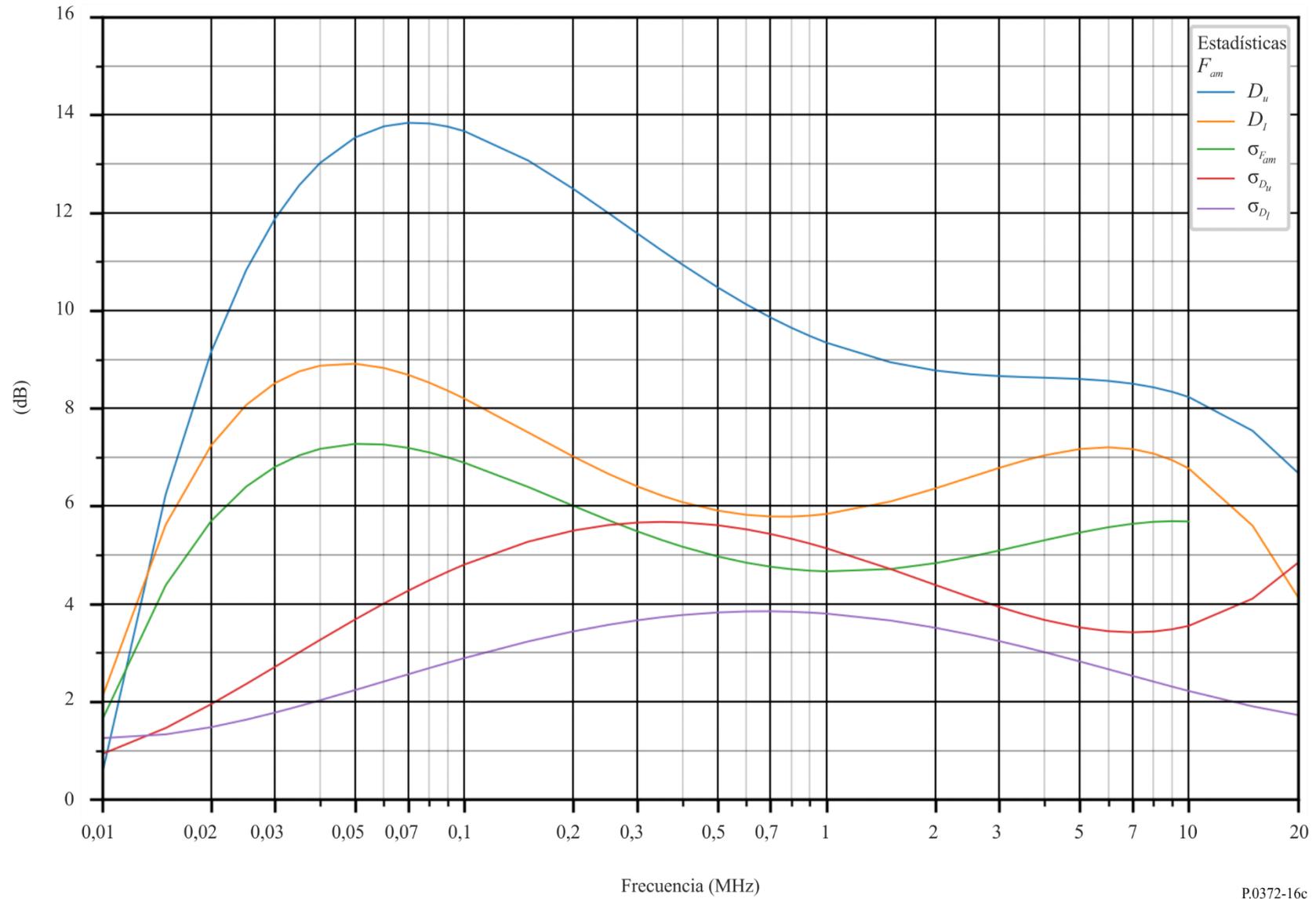


FIGURA 17a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Dic-ene-feb; 1600-2000 hora local)

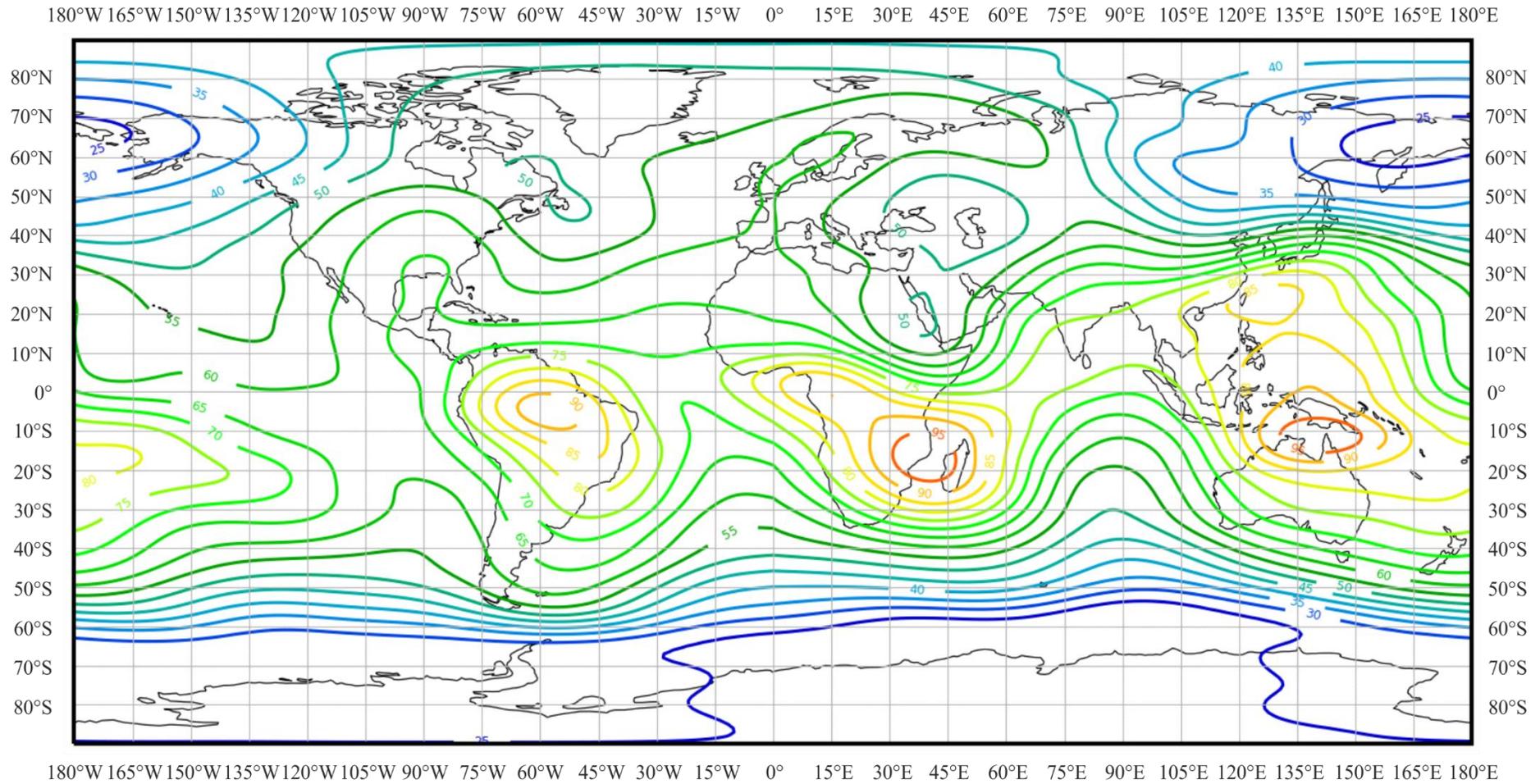


FIGURA 17b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 1600-2000 hora local)

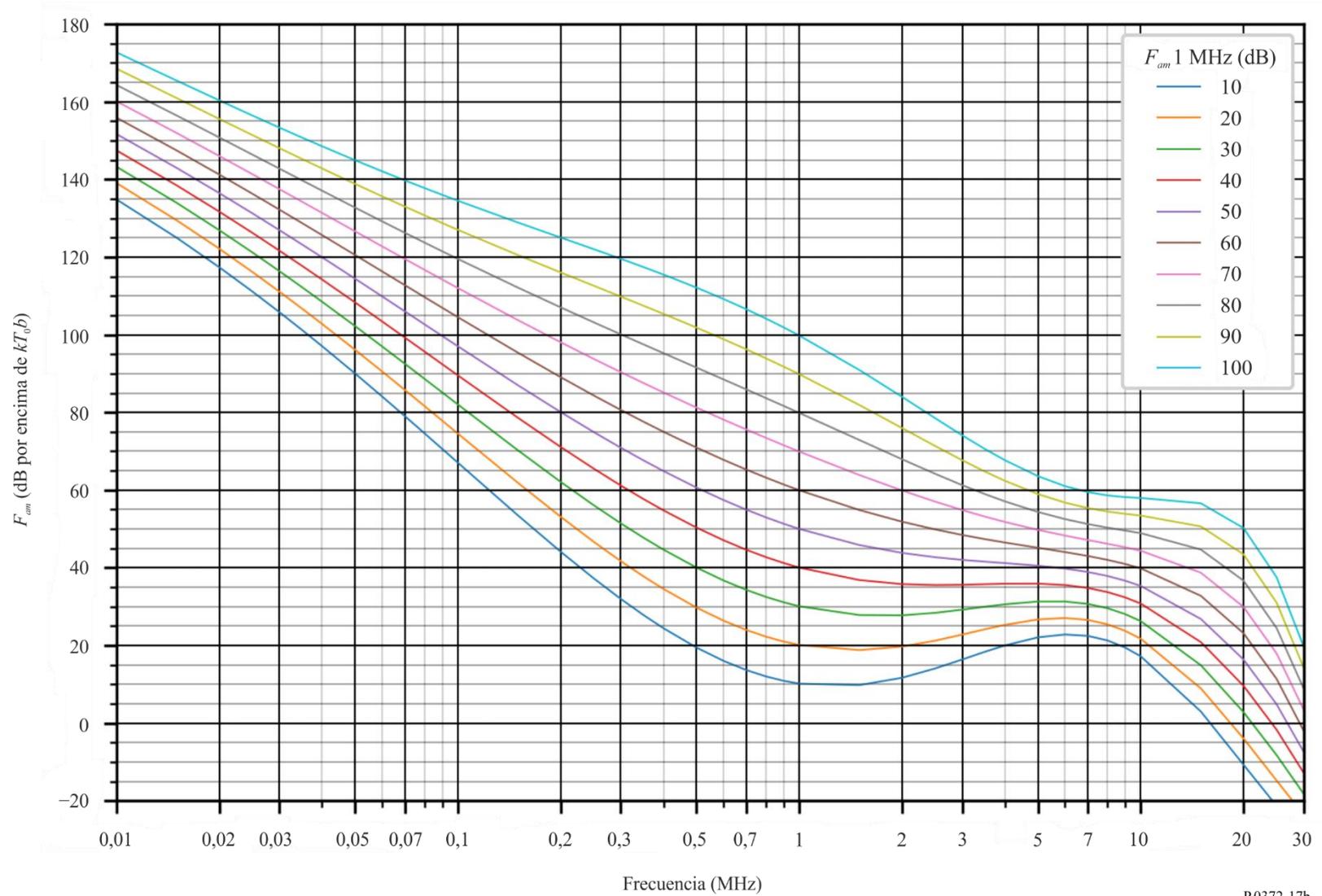


FIGURA 17c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 1600-2000 hora local)

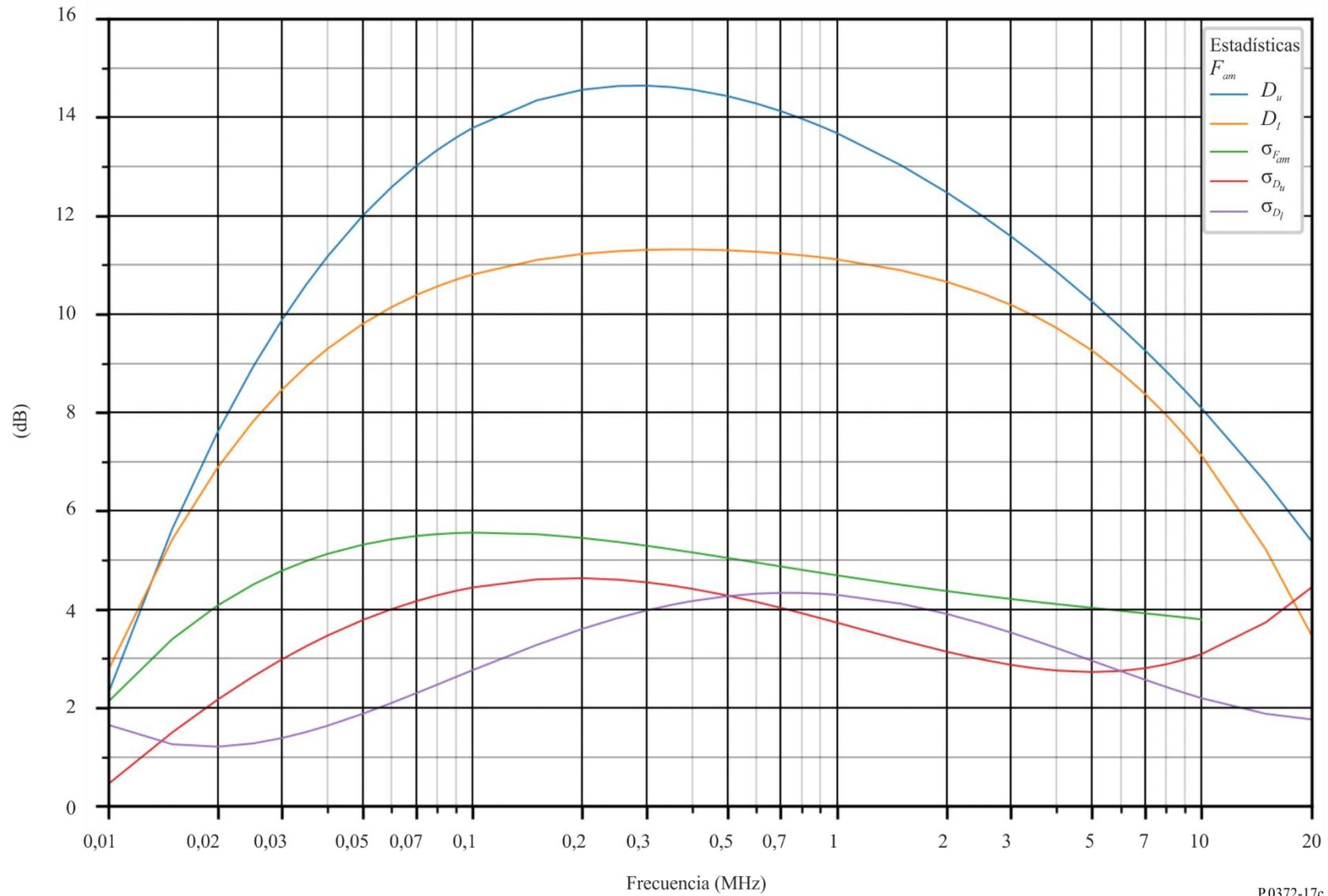


FIGURA 18a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Dic-ene-feb; 2000-2400 hora local)

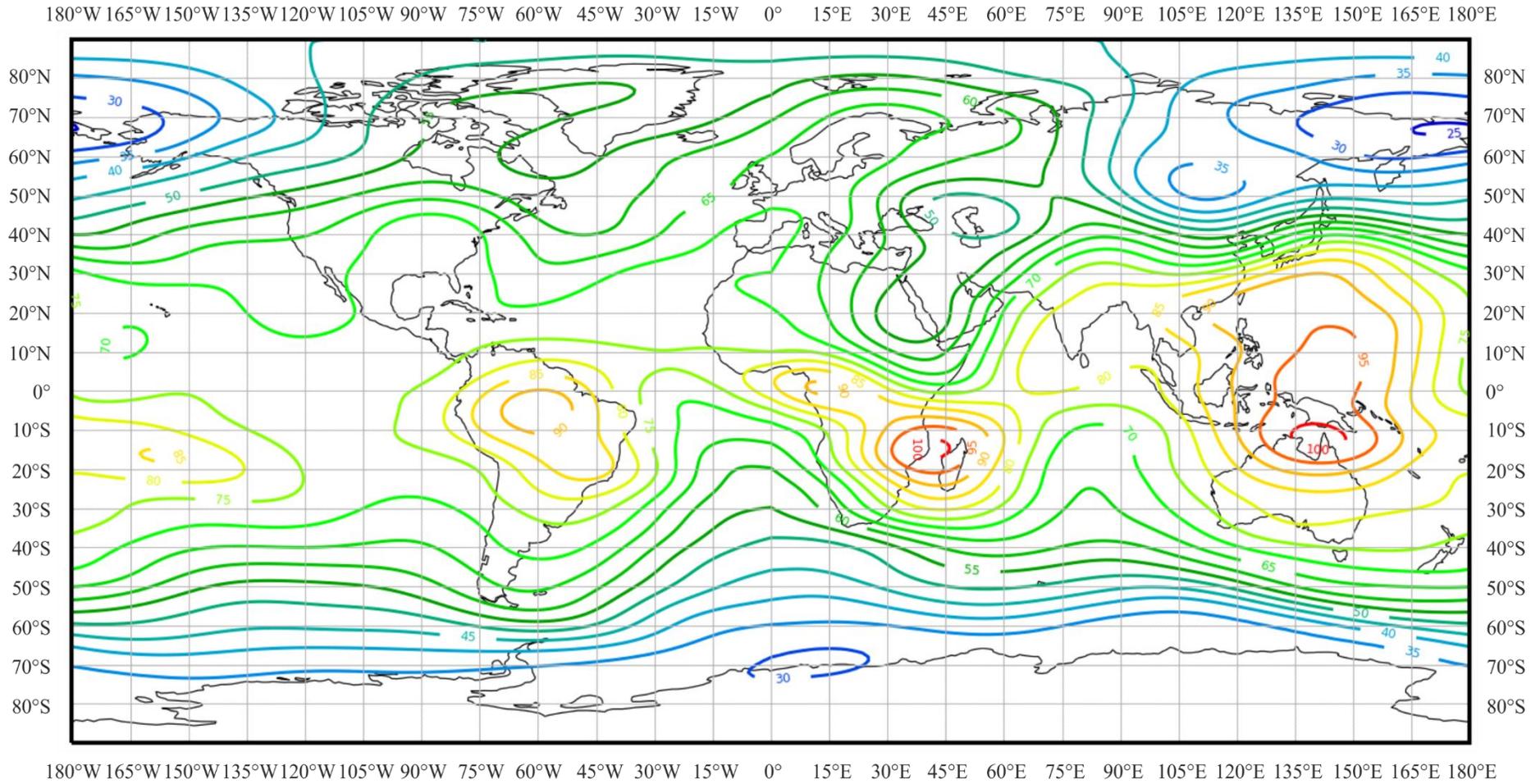


FIGURA 18b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 2000-2400 hora local)

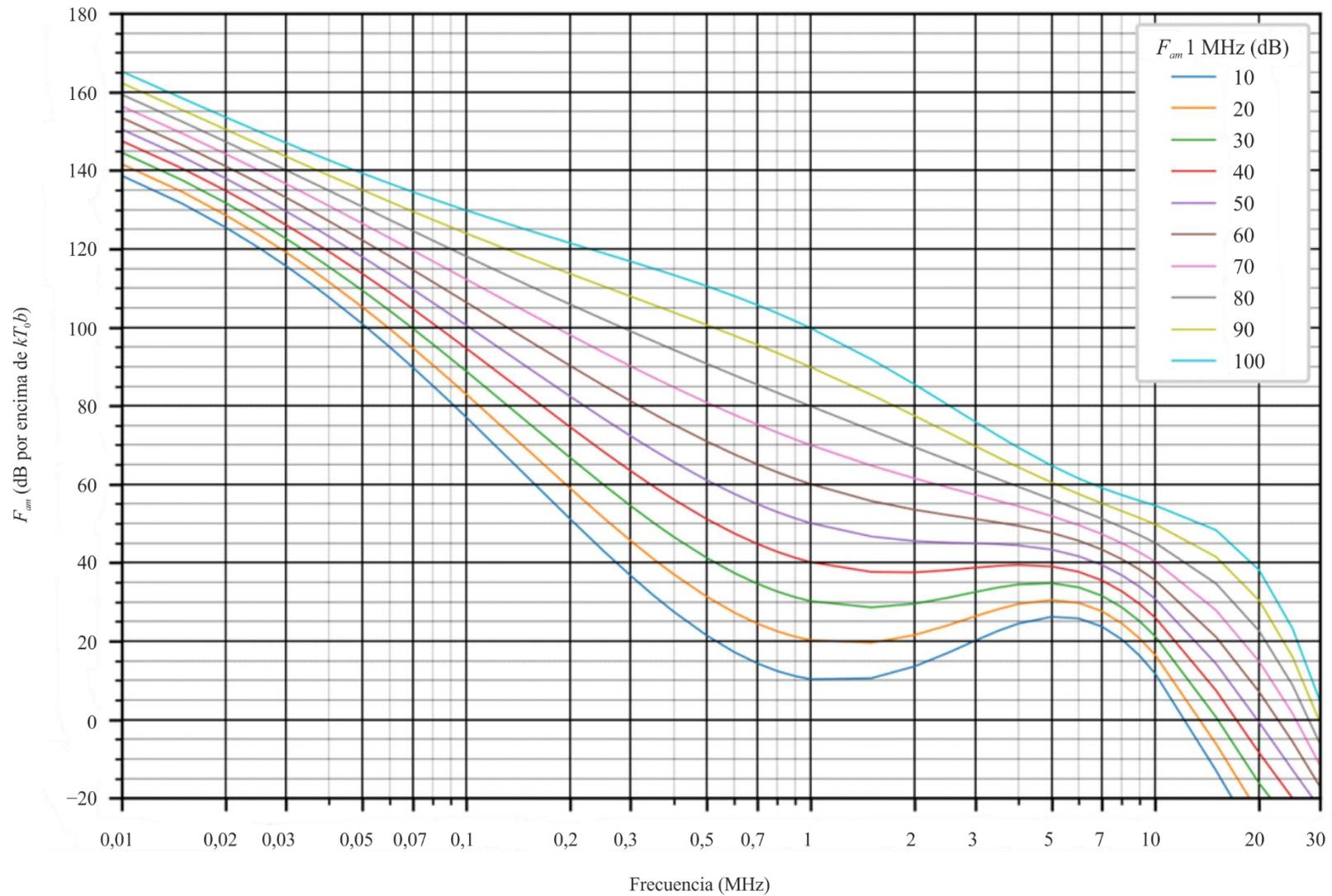


FIGURA 18c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: dic-ene-feb; hemisferio Sur: jun-jul-ago; 2000-2400 hora local)

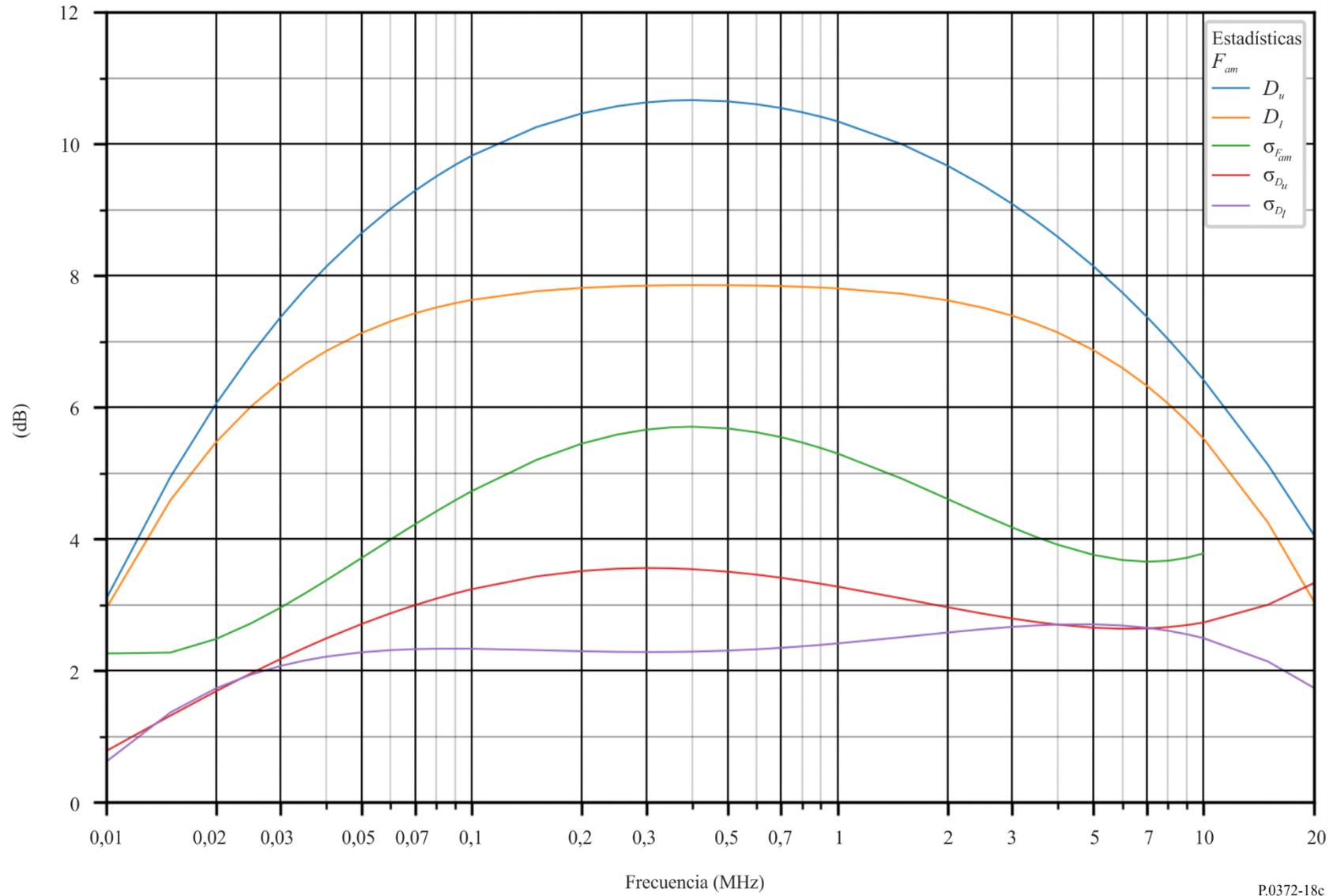


FIGURA 19a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Mar-abr-may; 0000-0400 hora local)

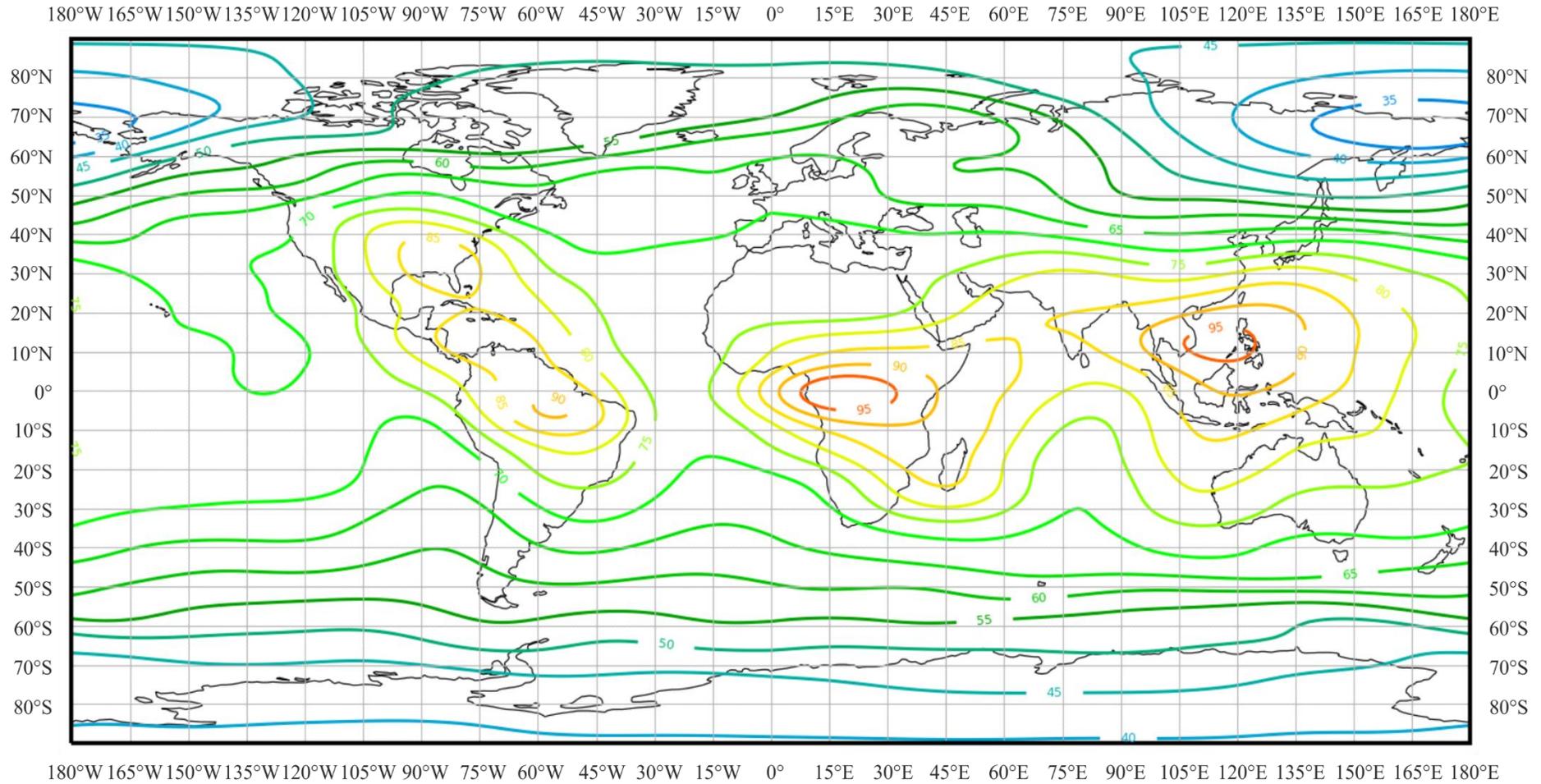


FIGURA 19b
 Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
 (Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 0000-0400 hora local)

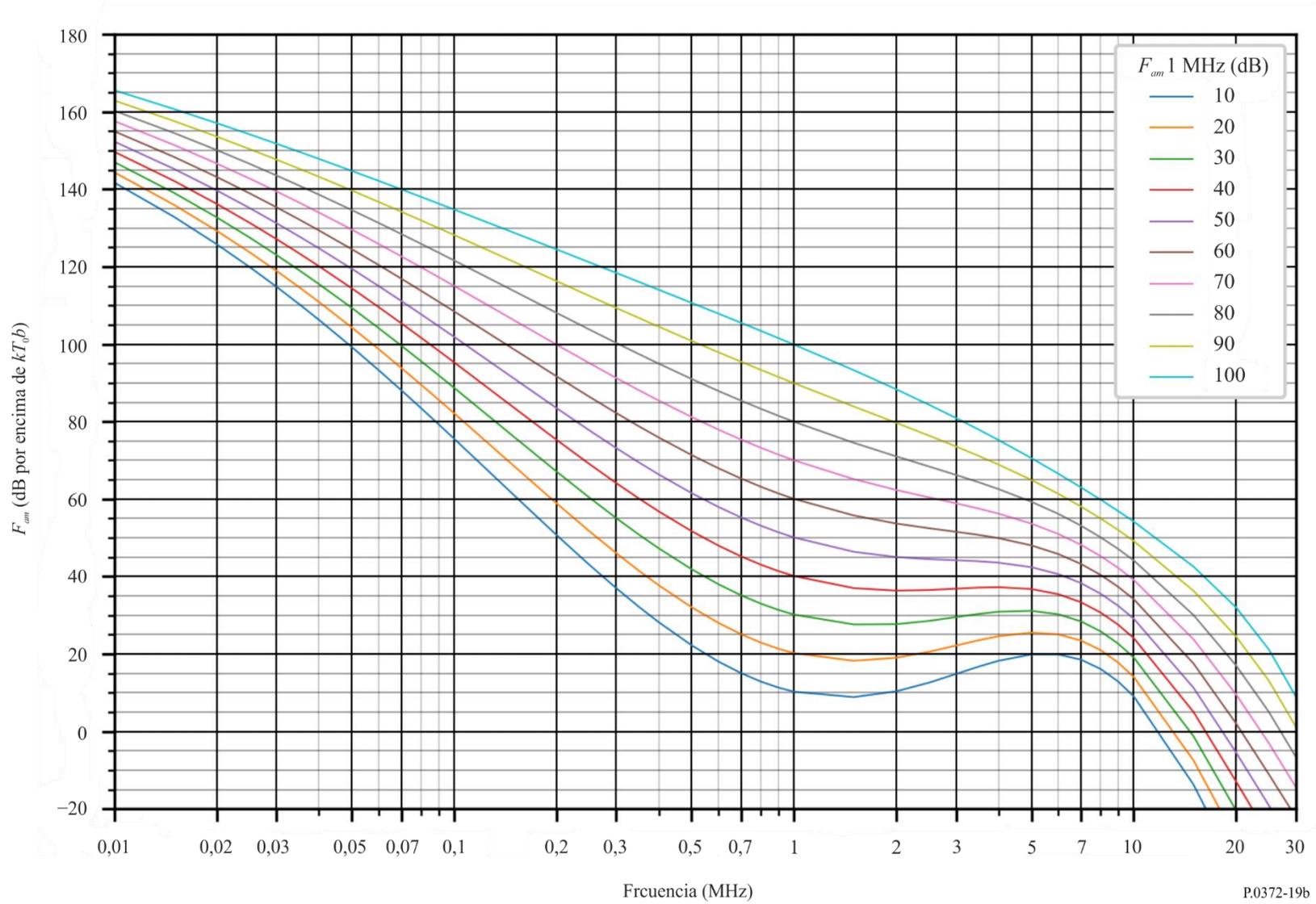


FIGURA 19c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 0000-0400 hora local)

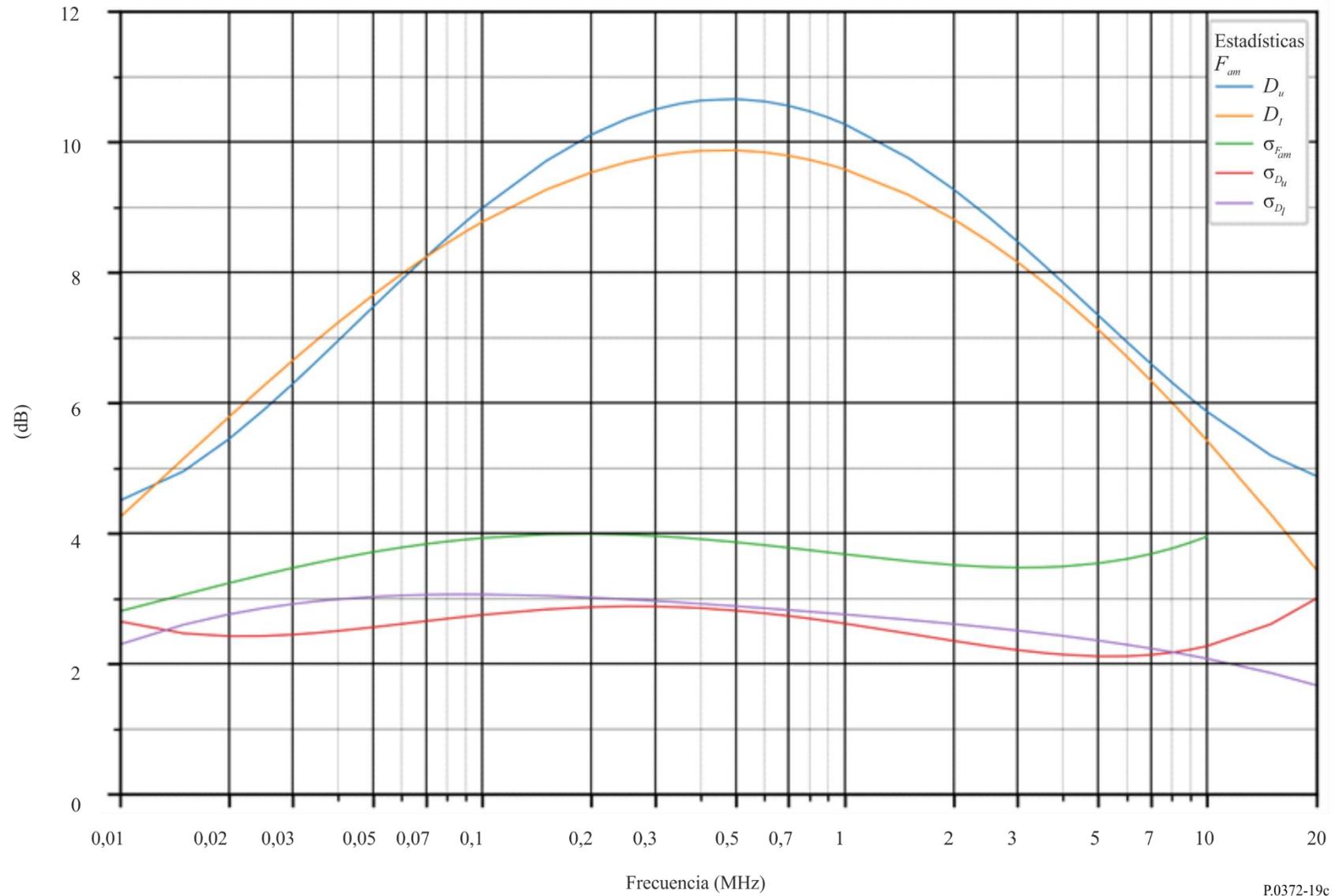


FIGURA 20a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Mar-abr-may; 0400-0800 hora local)

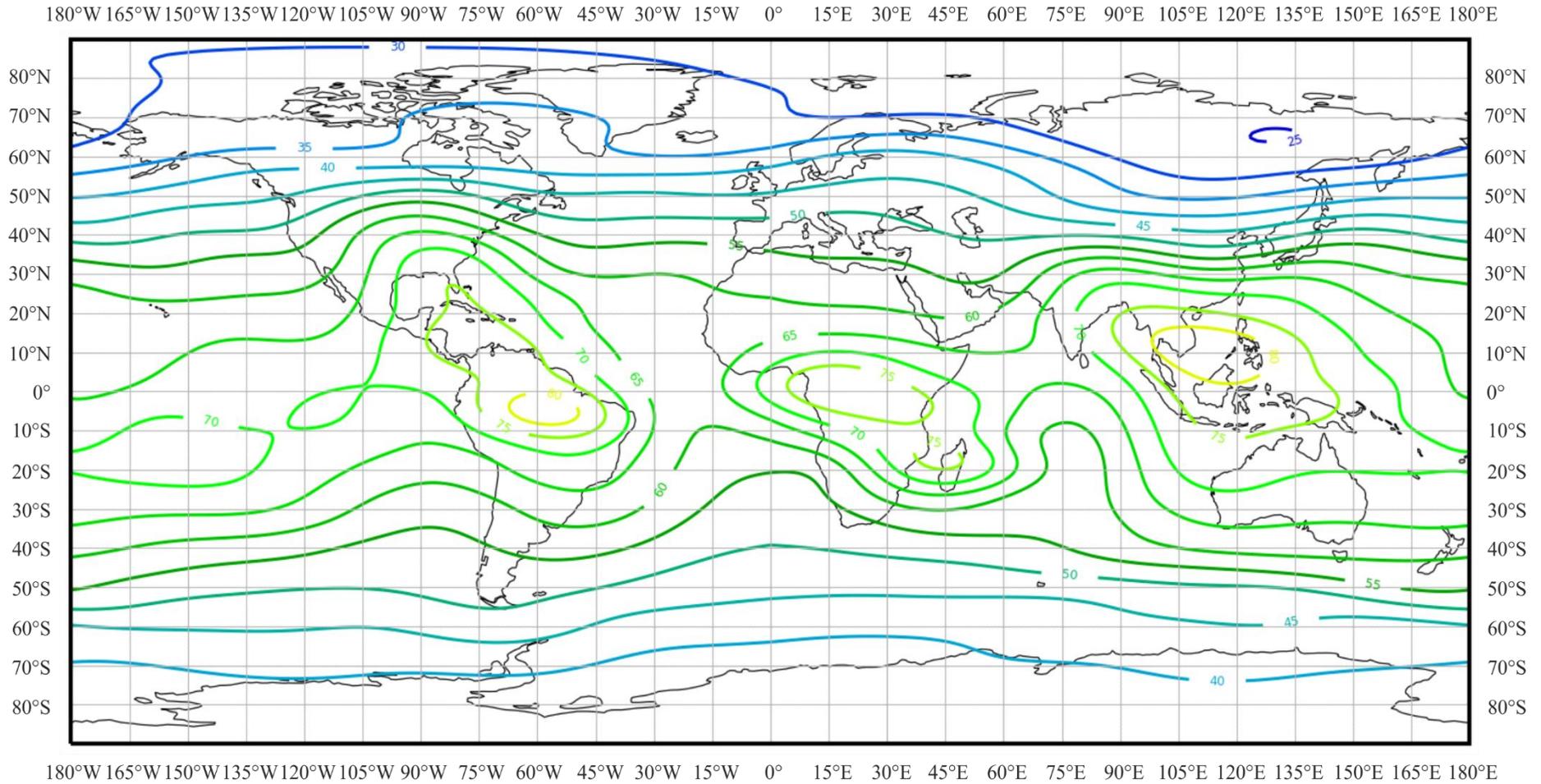


FIGURA 20b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 0400-0800 hora local)

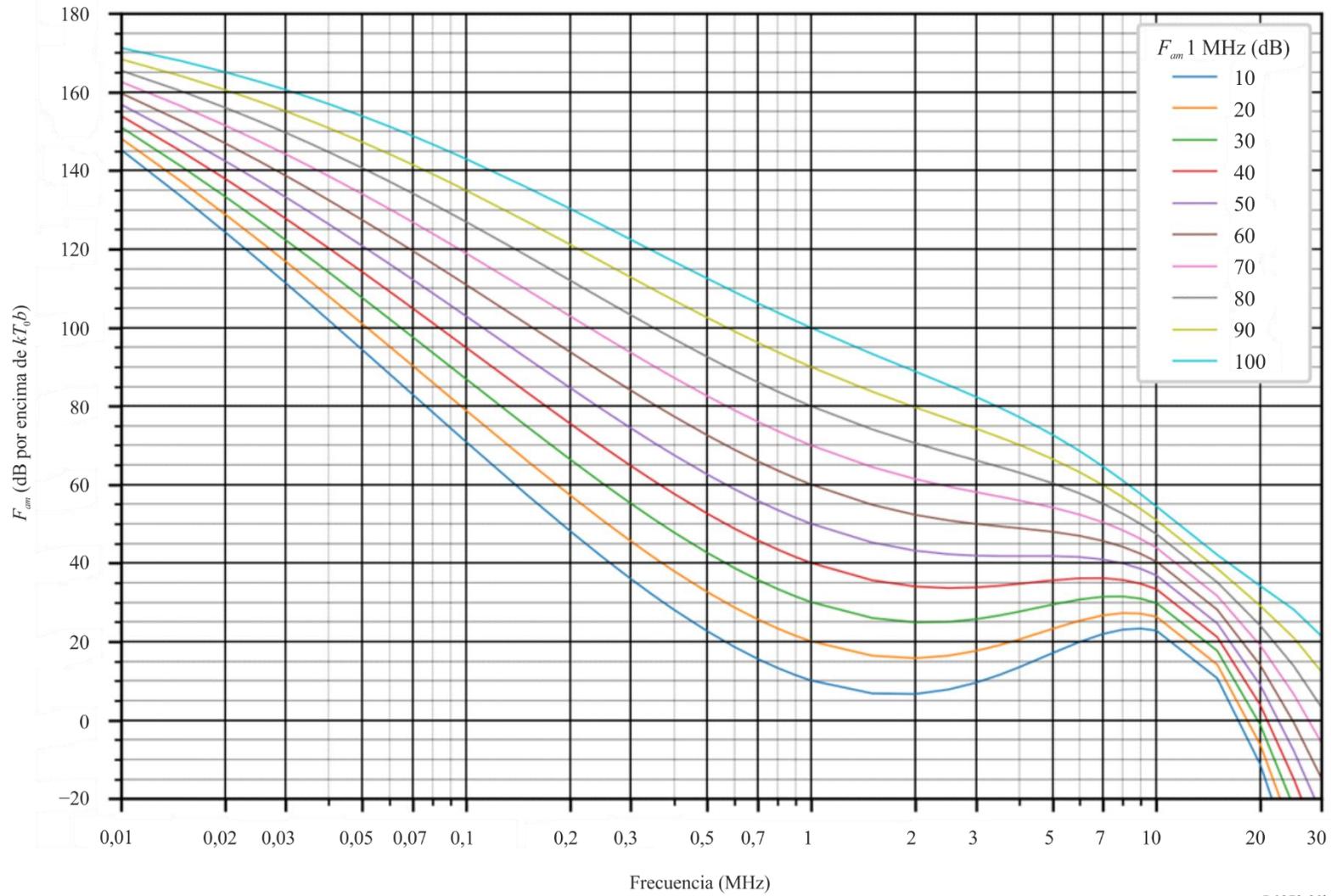


FIGURA 20c
 Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 0400-0800 hora local)

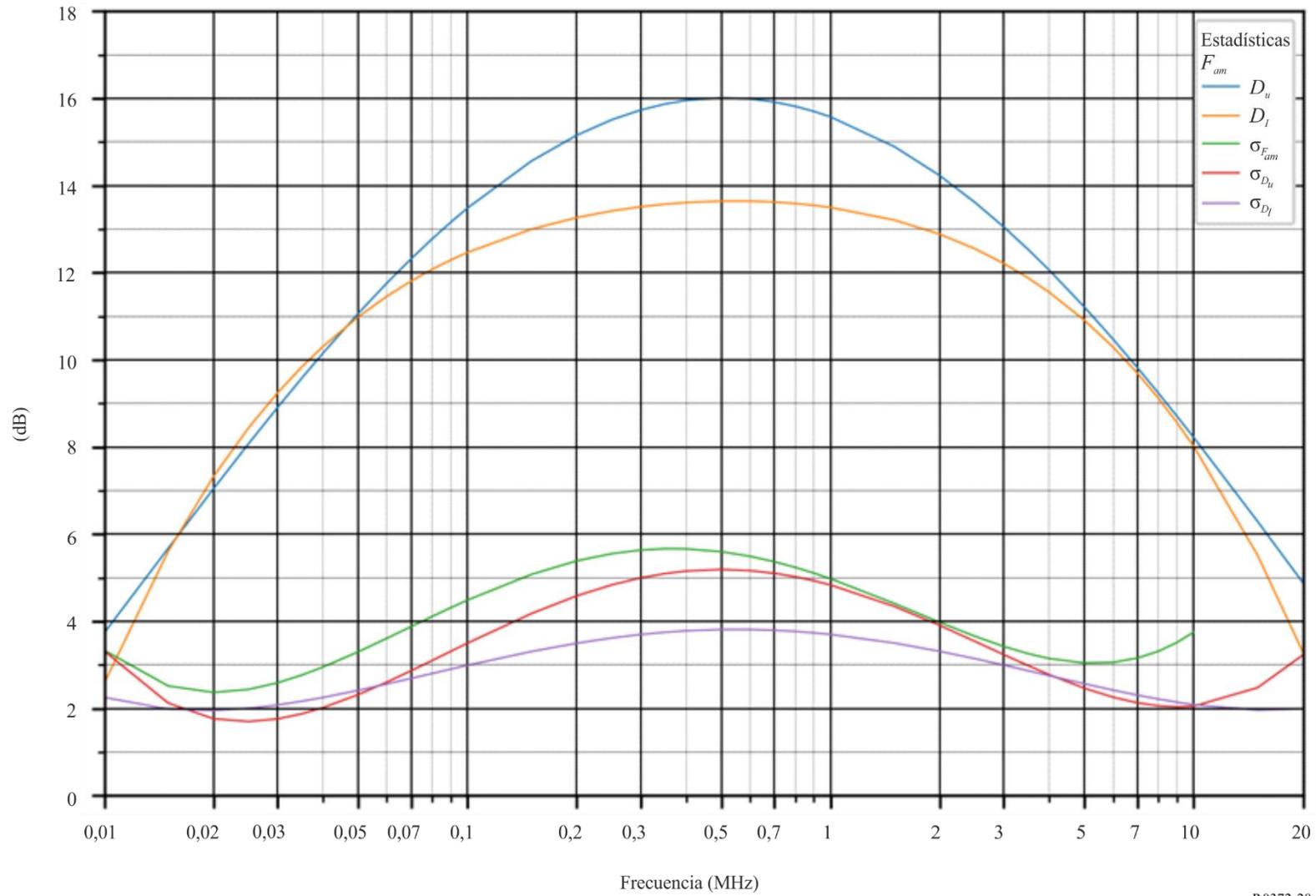


FIGURA 21a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Mar-abr-may; 0800-1200 hora local)

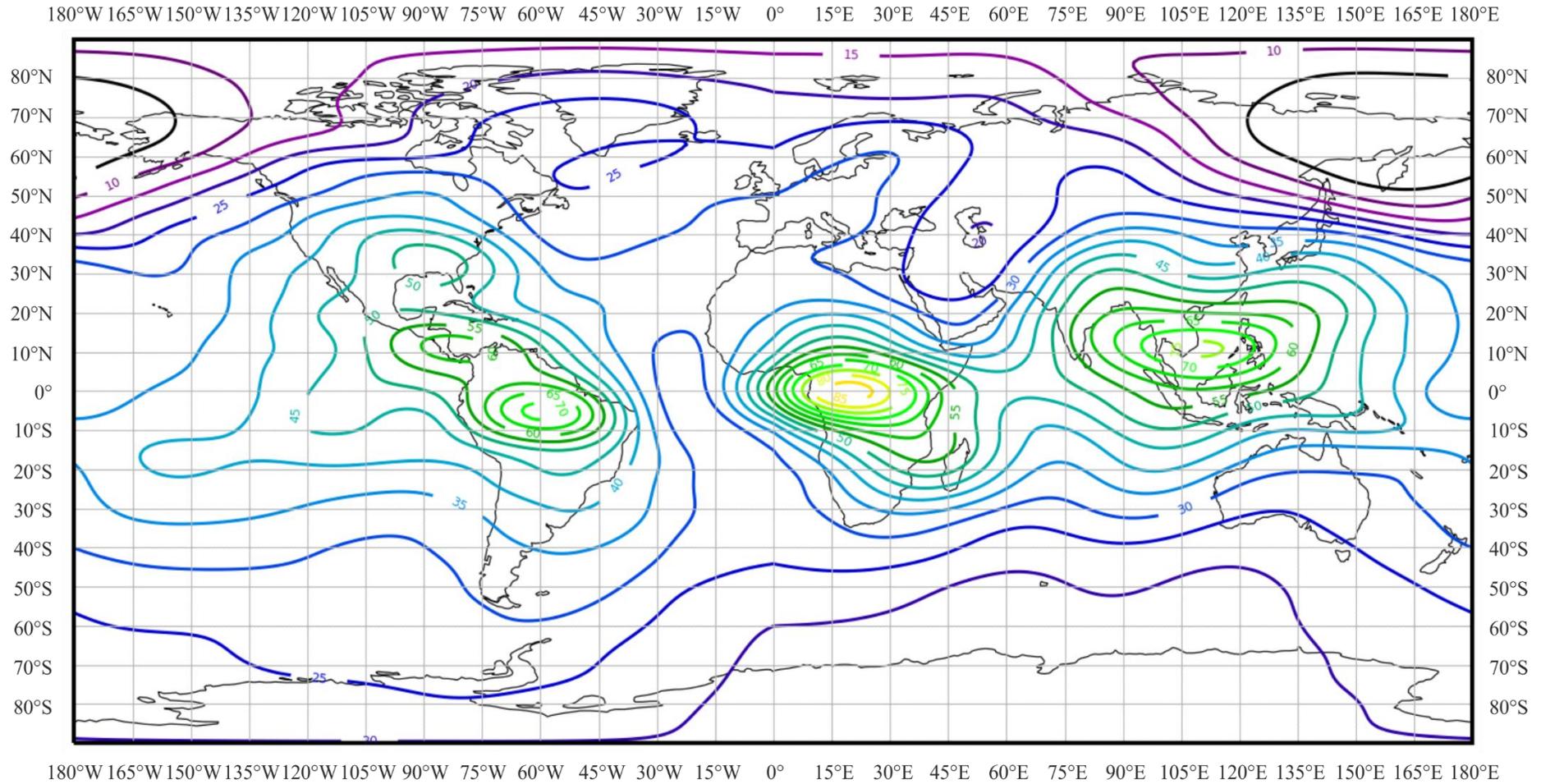


FIGURA 21b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
 (Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 0800-1200 hora local)

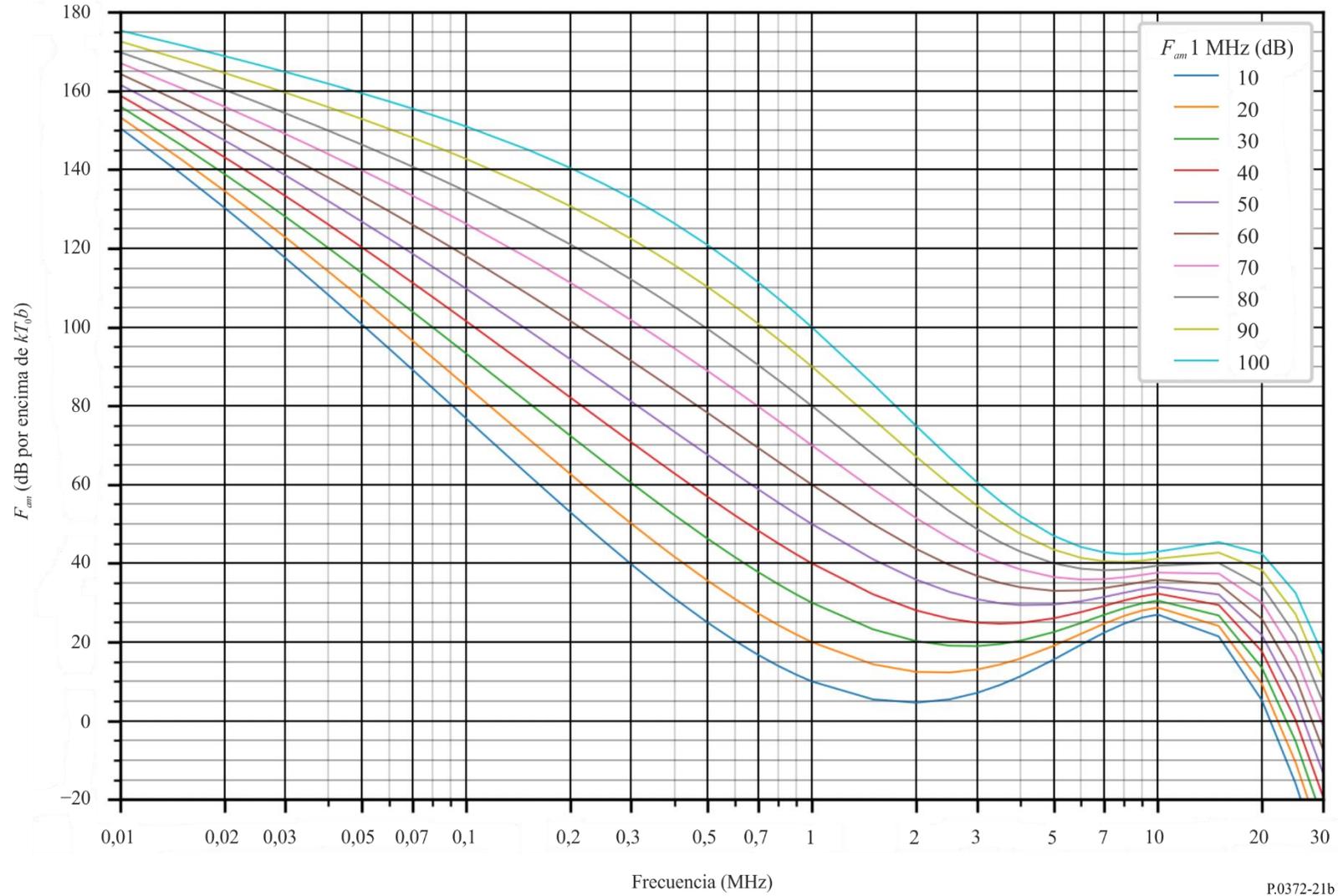


FIGURA 21c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 0800-1200 hora local)

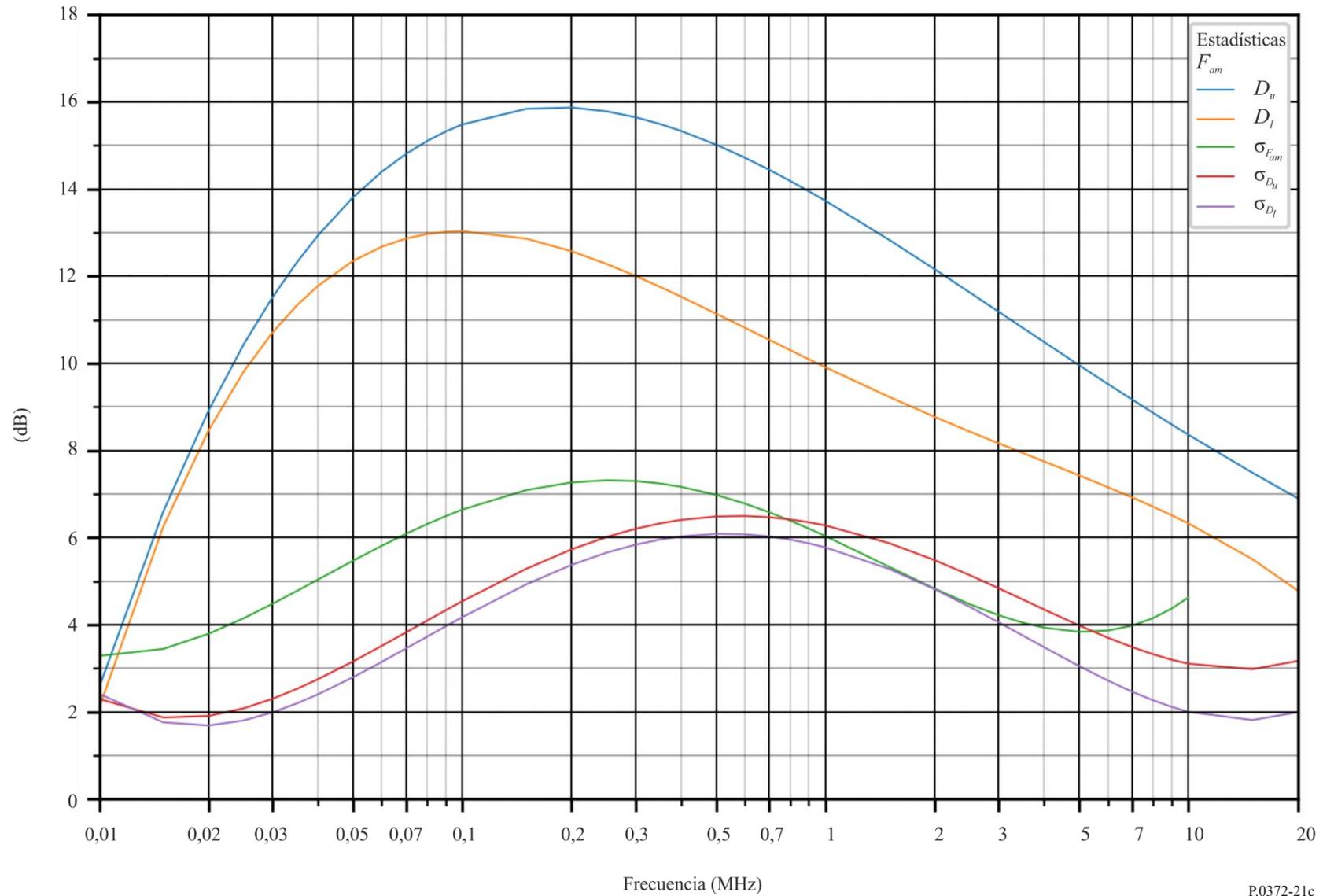


FIGURA 22a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Mar-abr-may; 1200-1600 hora local)

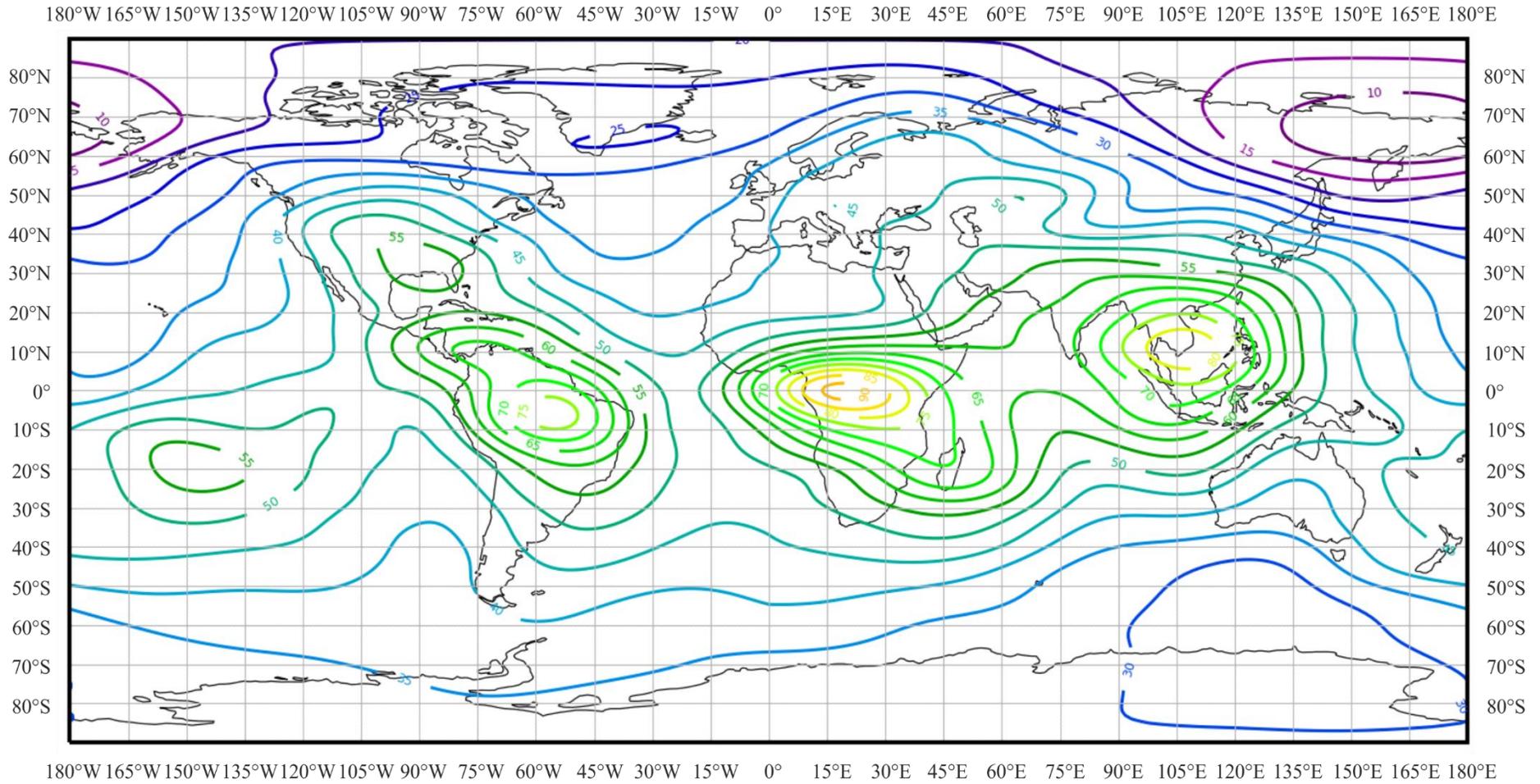


FIGURA 22b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 1200-1600 hora local)

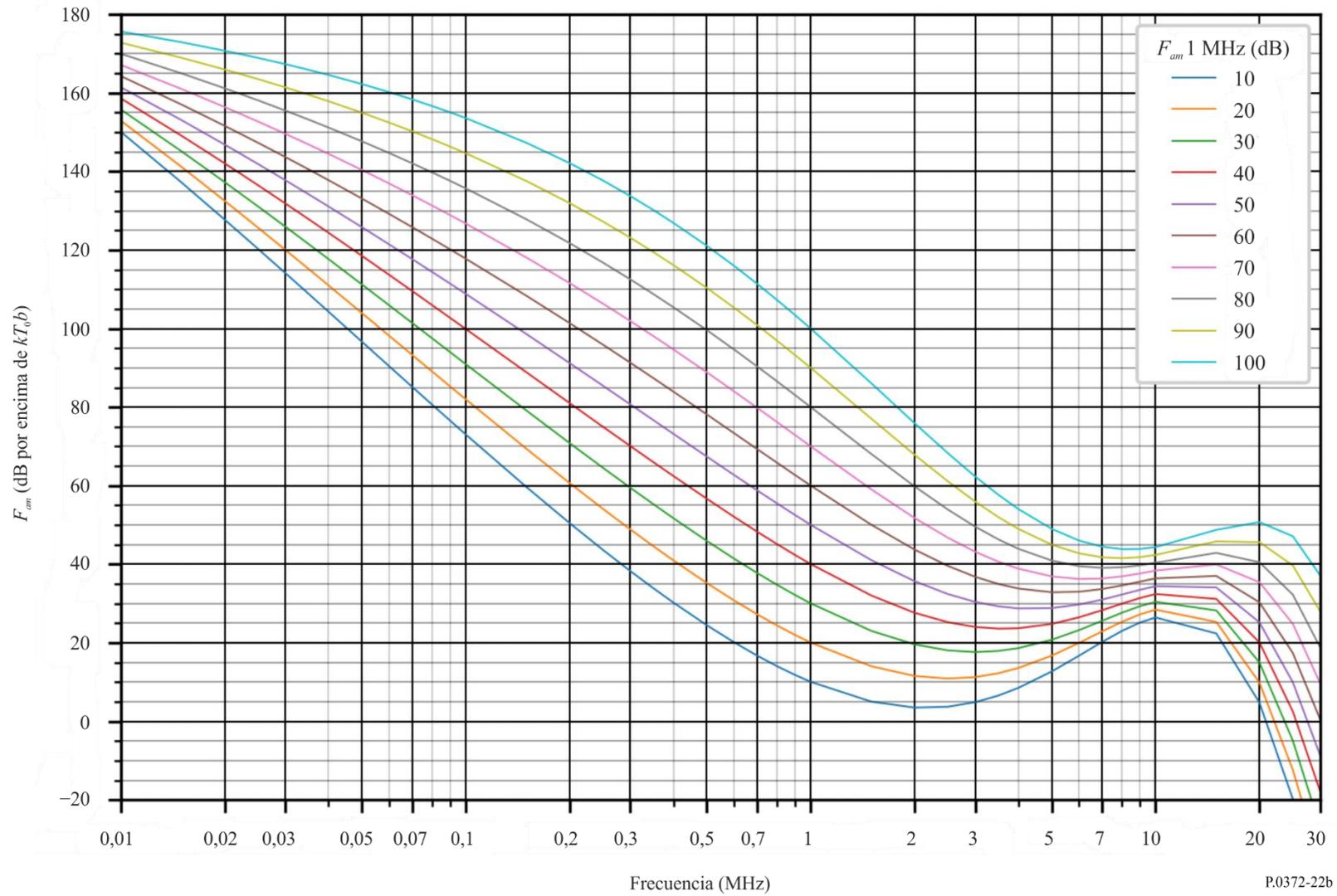


FIGURA 22c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 1200-1600 hora local)

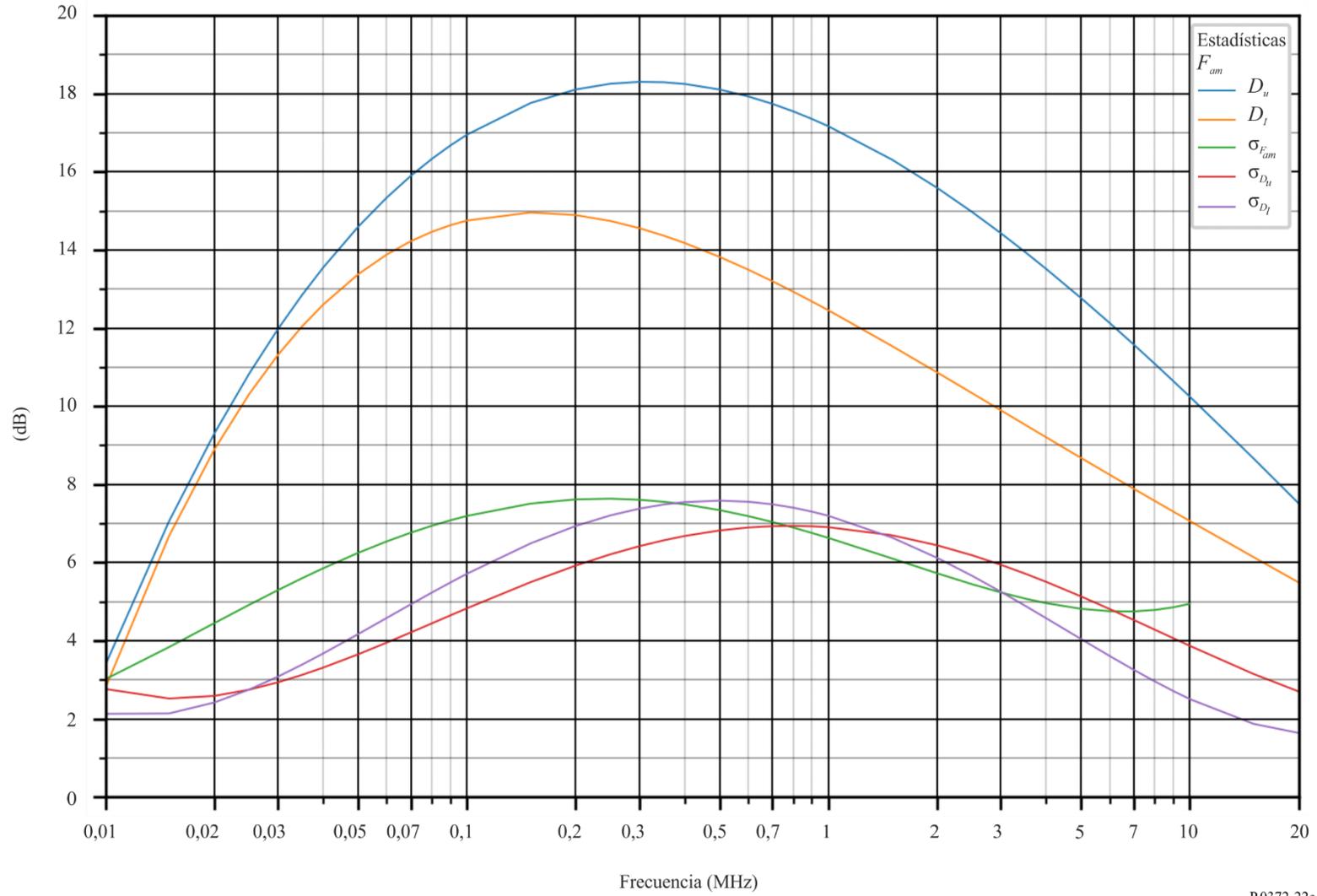


FIGURA 23a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{100} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Mar-abr-may; 1600-2000 hora local)

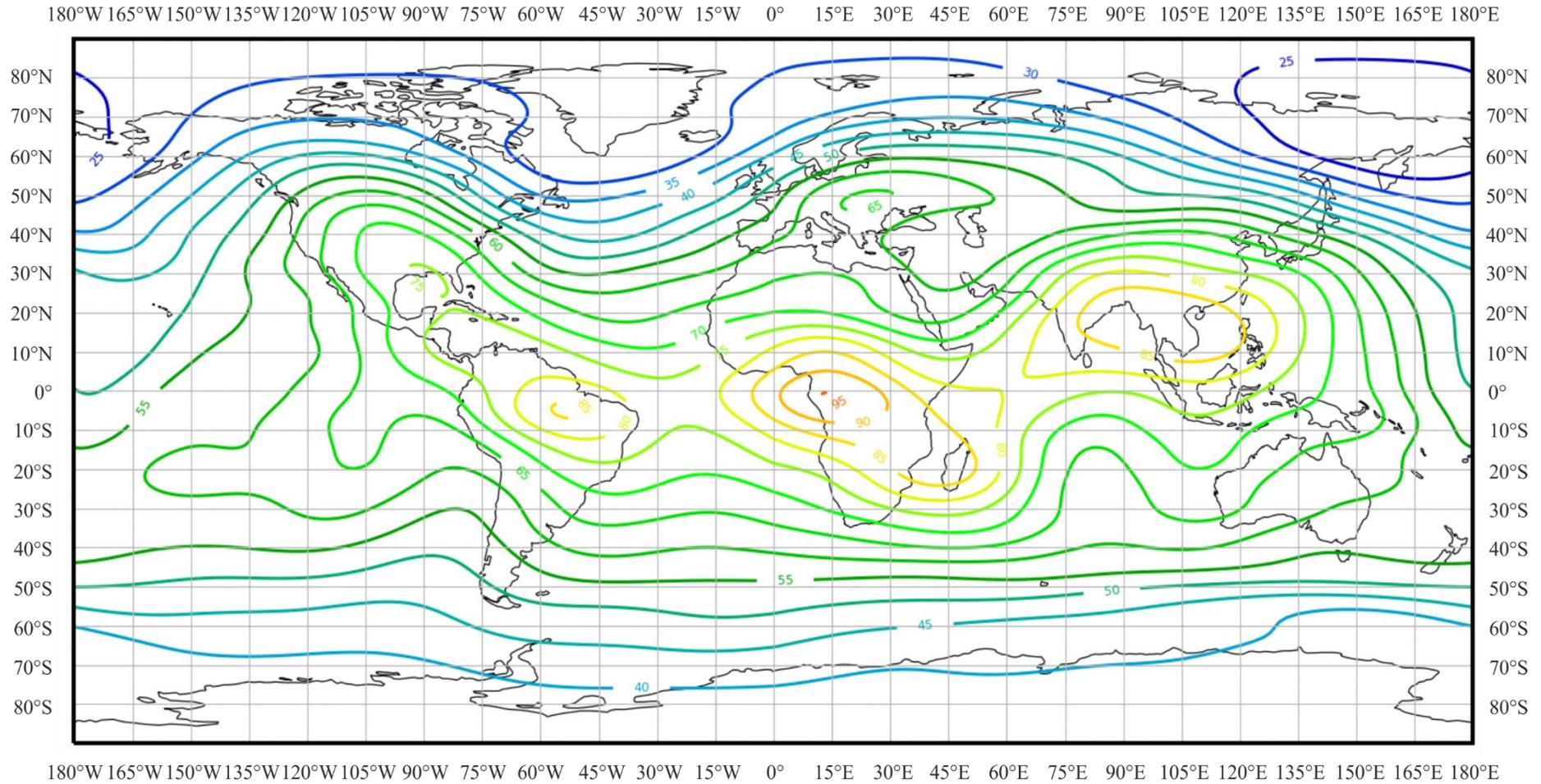


FIGURA 23b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 1600-2000 hora local)

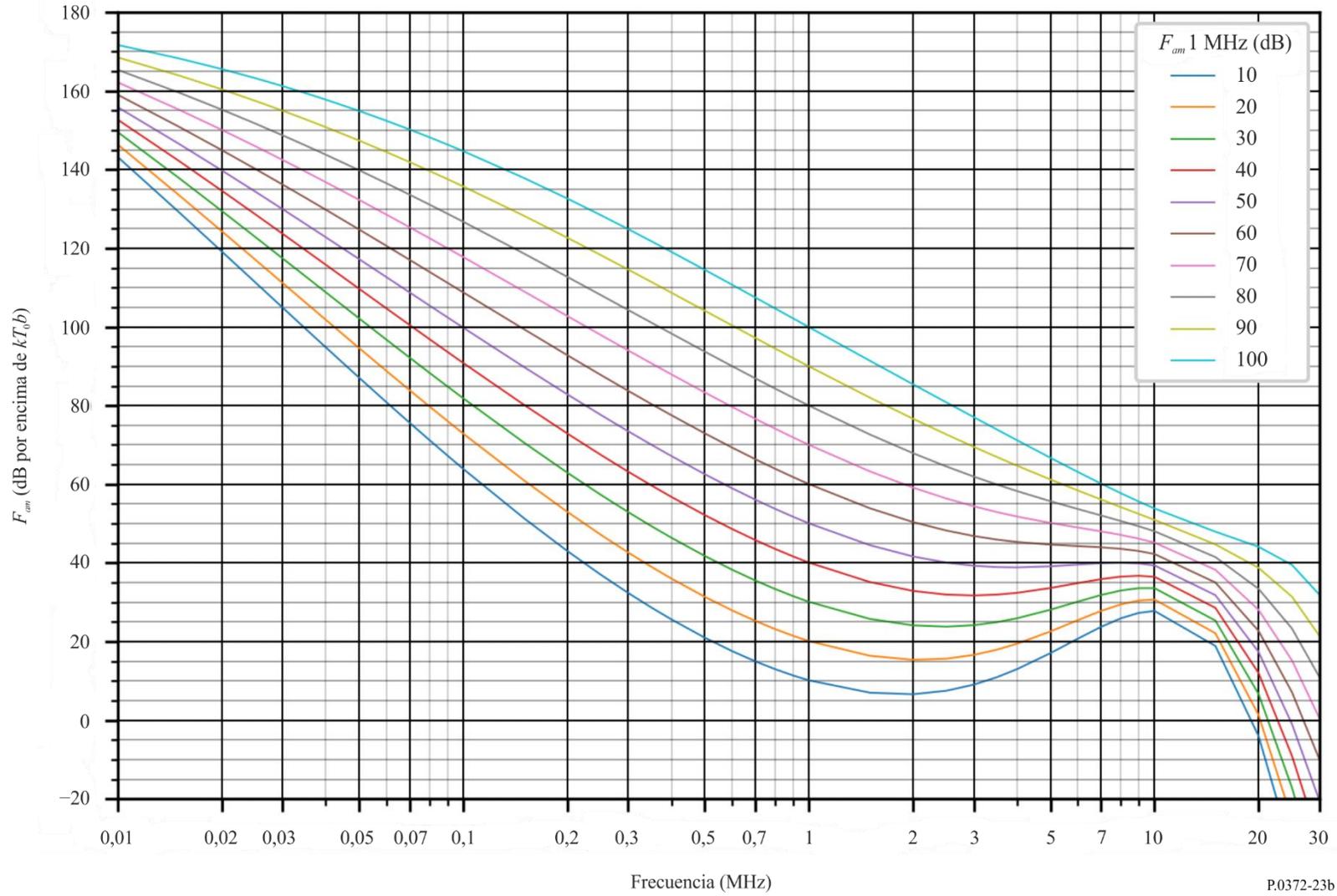


FIGURA 23c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 1600-2000 hora local)

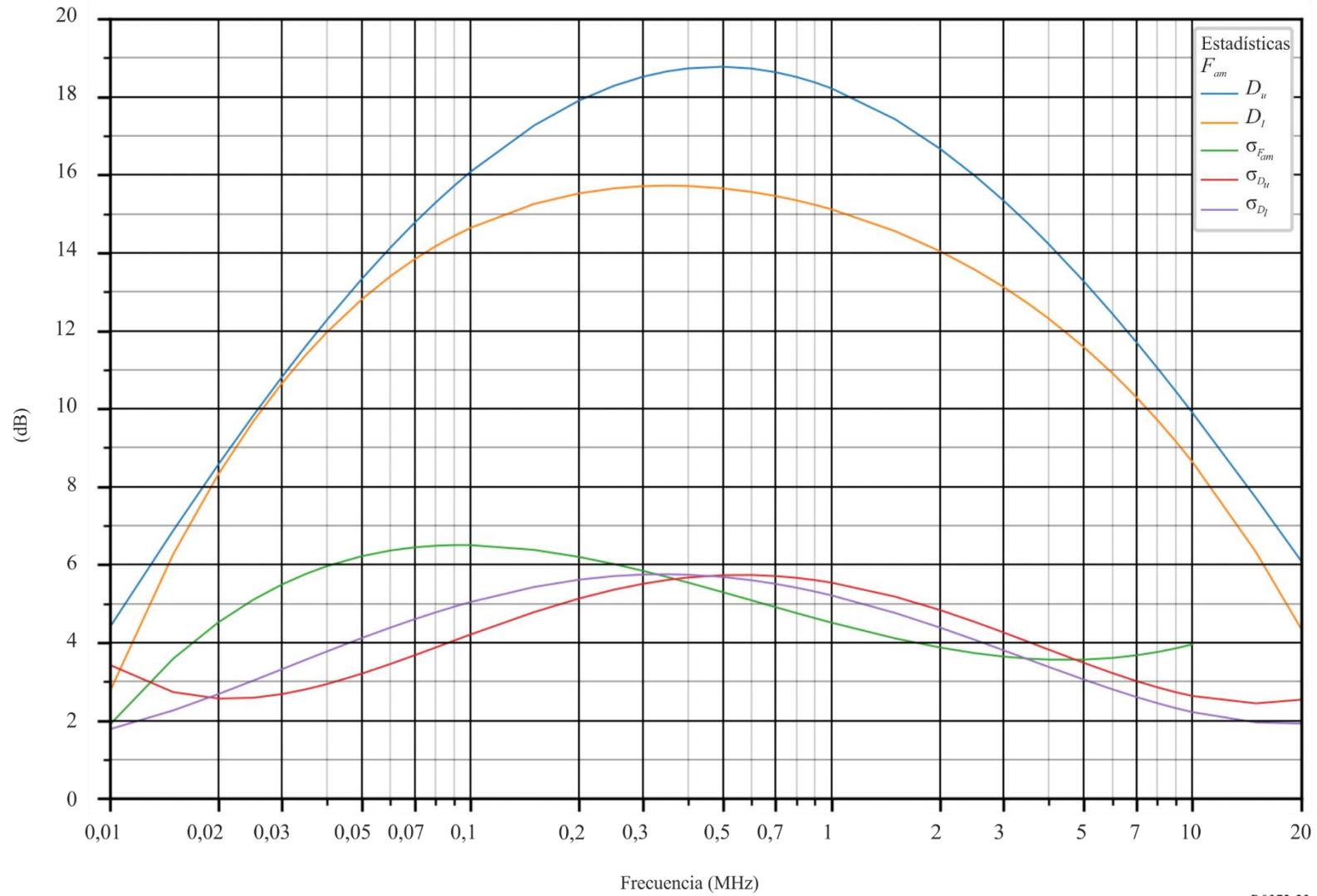


FIGURA 24a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Mar-abr-may; 2000-2400 hora local)

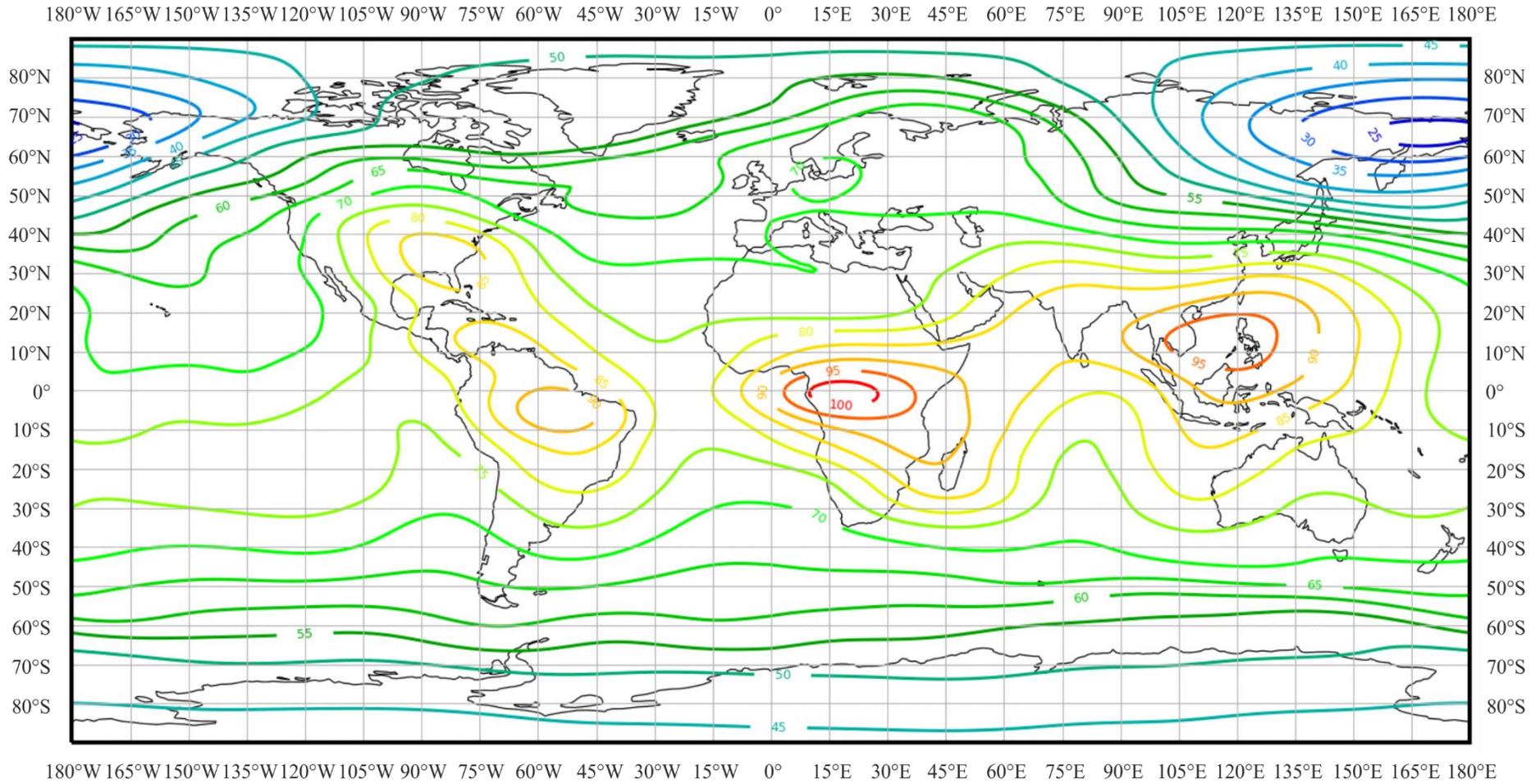


FIGURA 24b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 2000-2400 hora local)

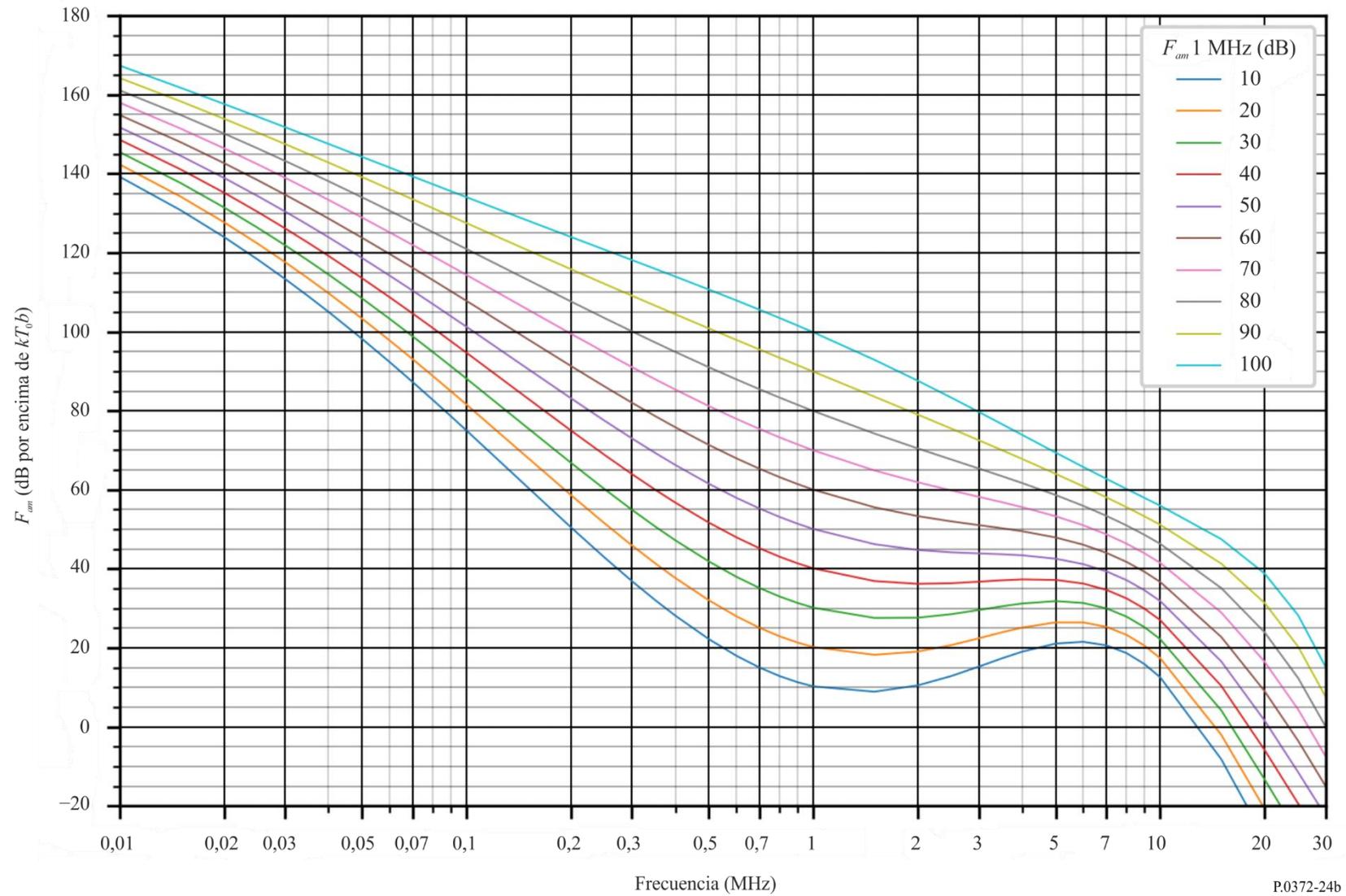


FIGURA 24c
Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: mar-abr-may; hemisferio Sur: sep-oct-nov; 2000-2400 hora local)

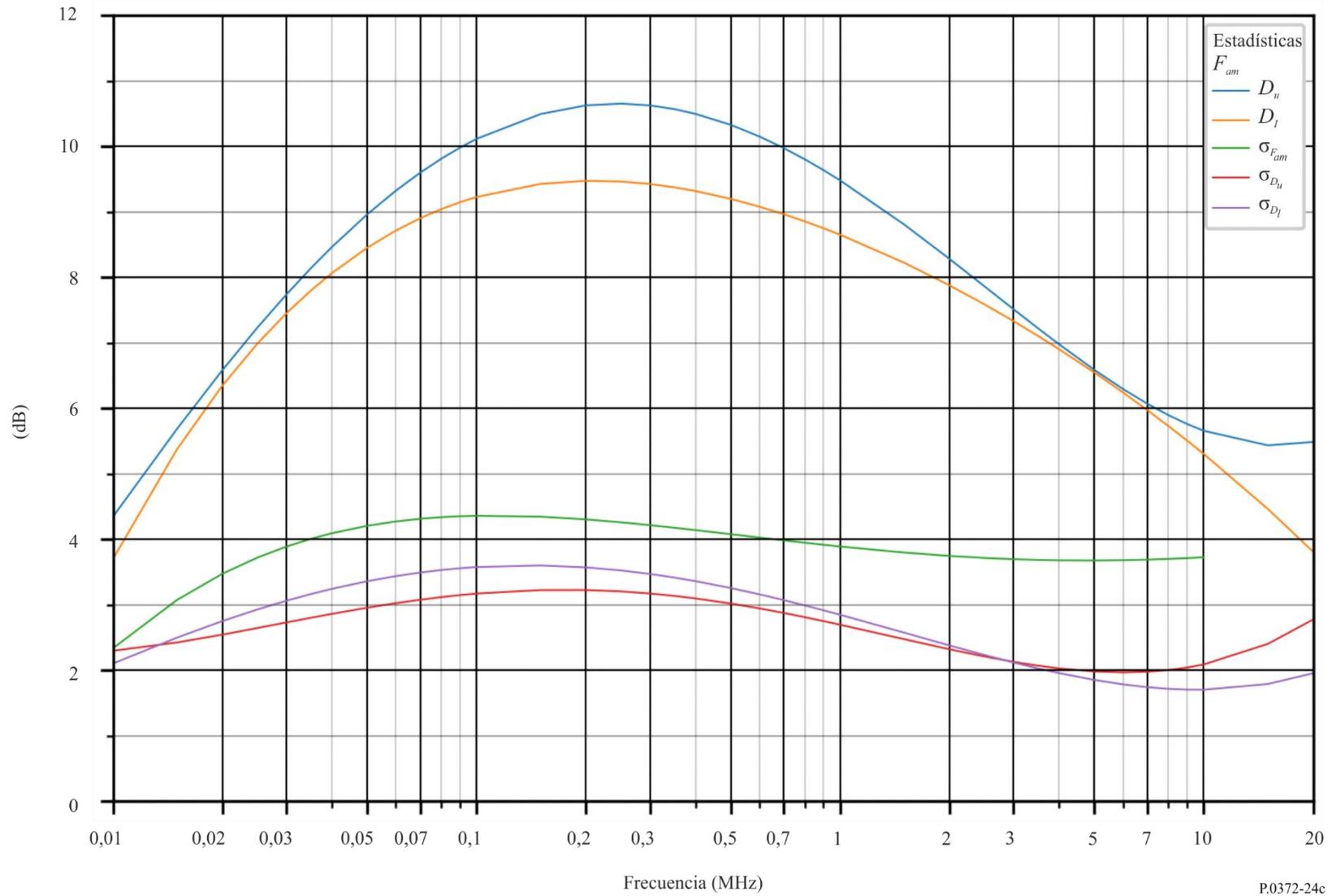


FIGURA 25a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT0b en 1 MHz
(Jun-jul-ago; 0000-0400 hora local)

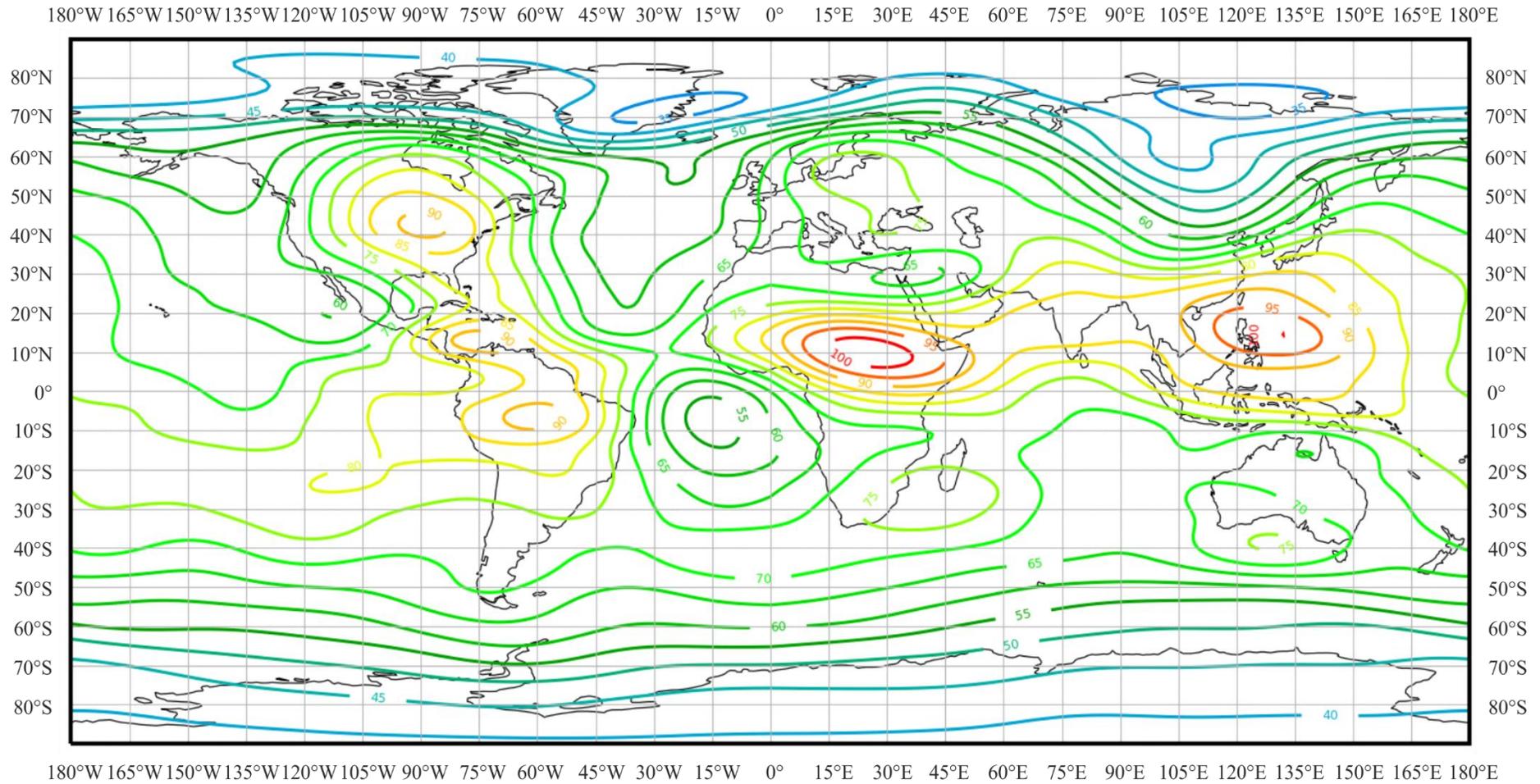


FIGURA 25b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 0000-0400 hora local)

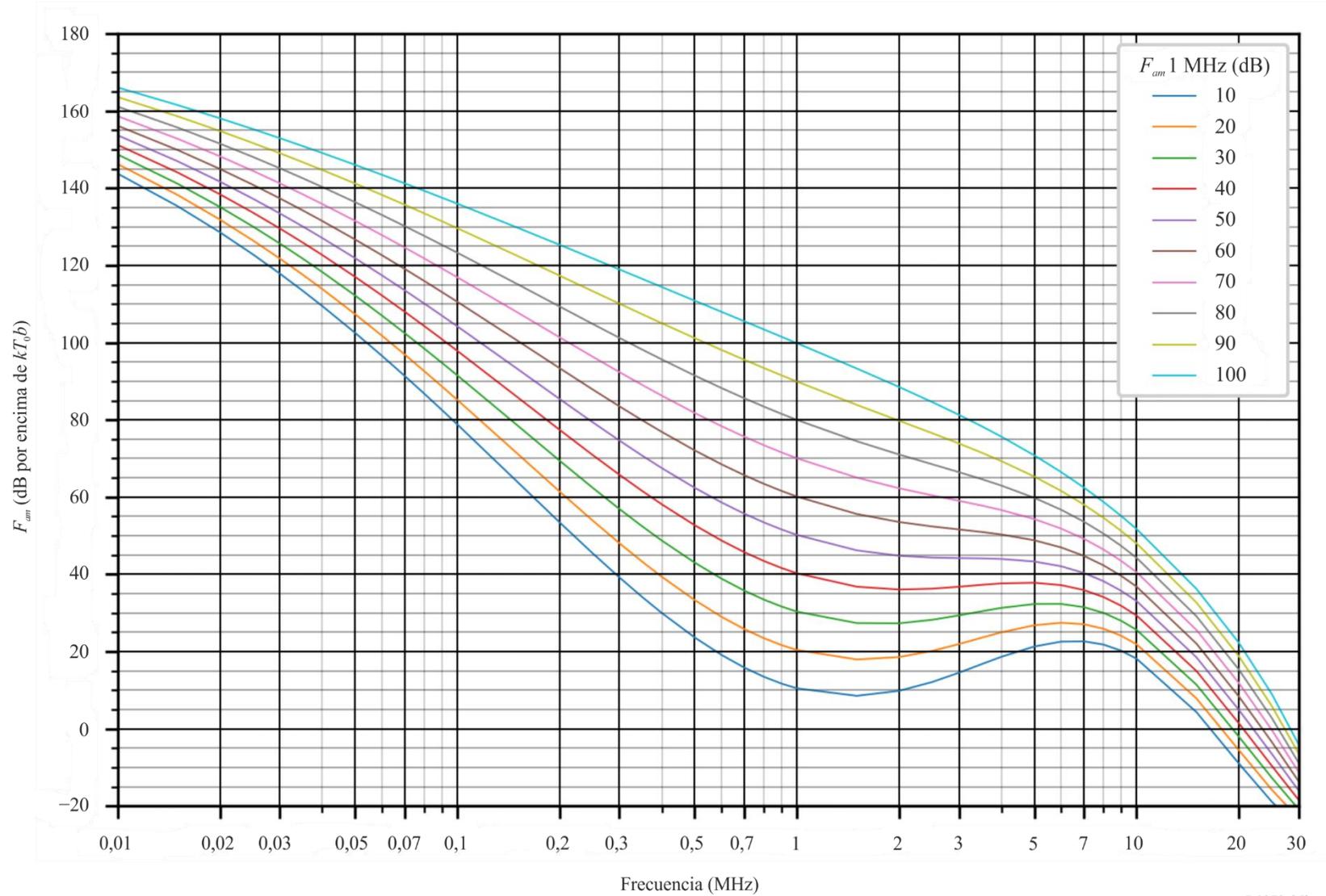


FIGURA 25c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 0000-0400 hora local)

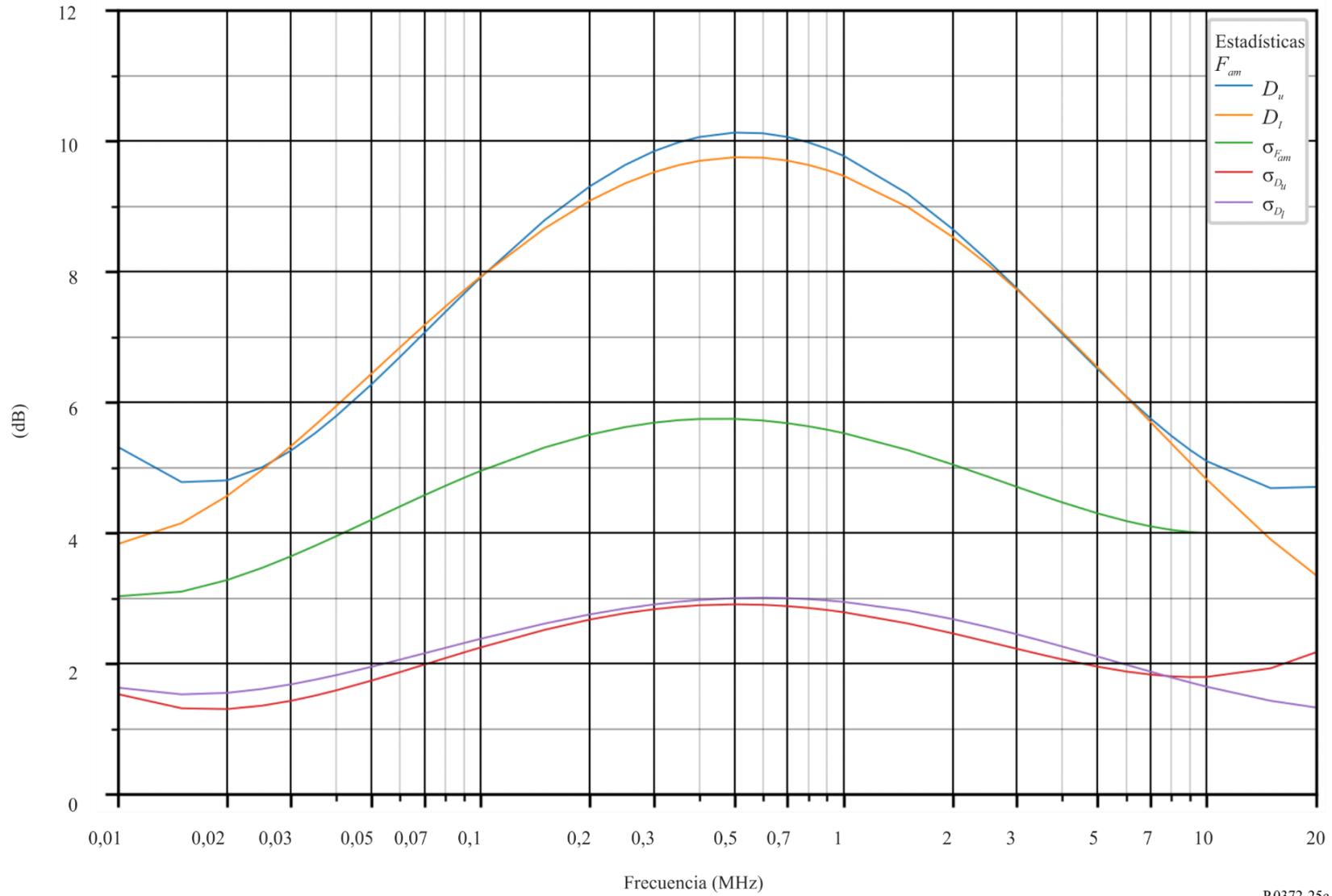


FIGURA 26a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Jun-jul-ago; 0400-0800 hora local)

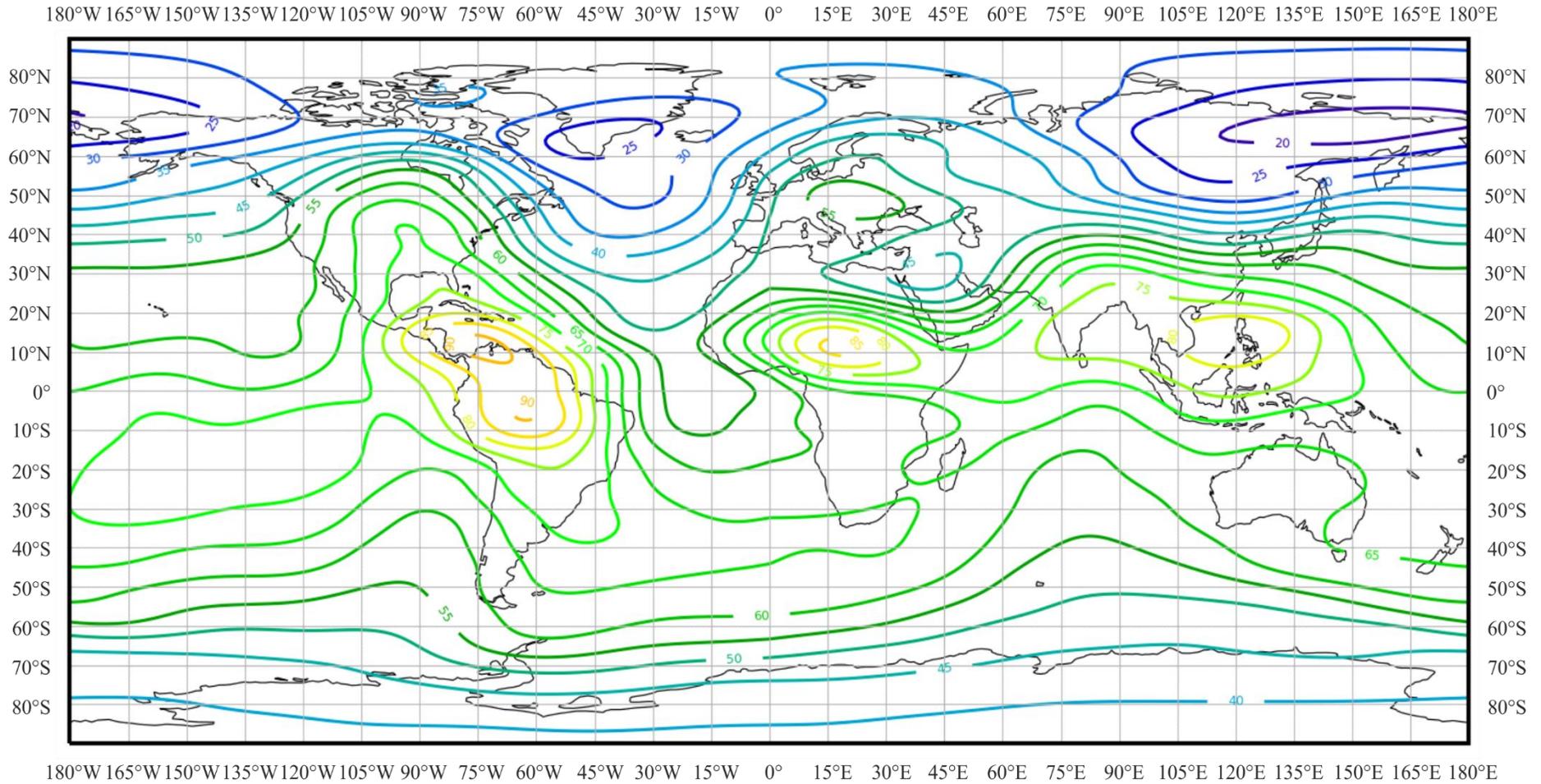


FIGURA 26b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 0400-0800 hora local)

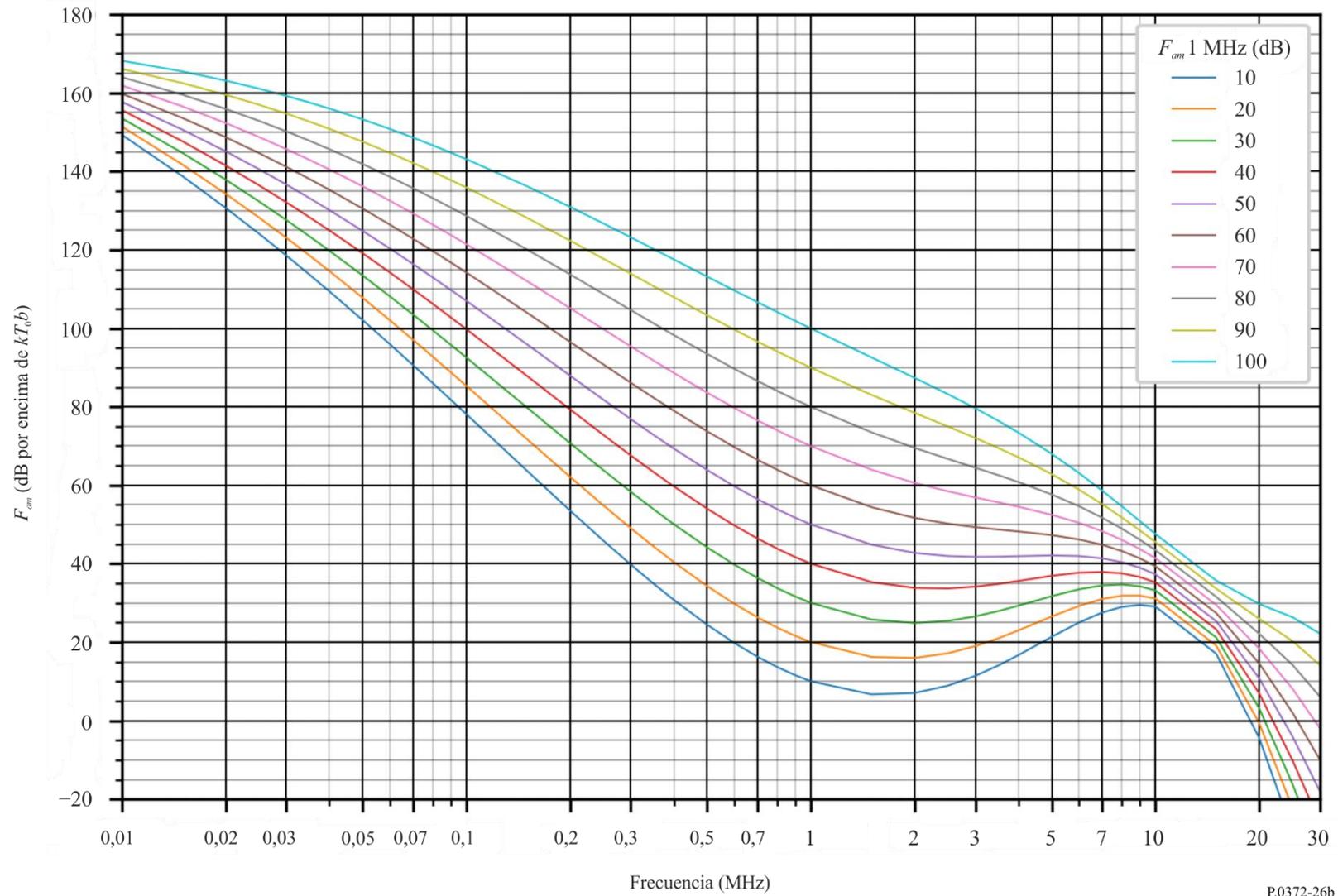


FIGURA 26c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 0400-0800 hora local)

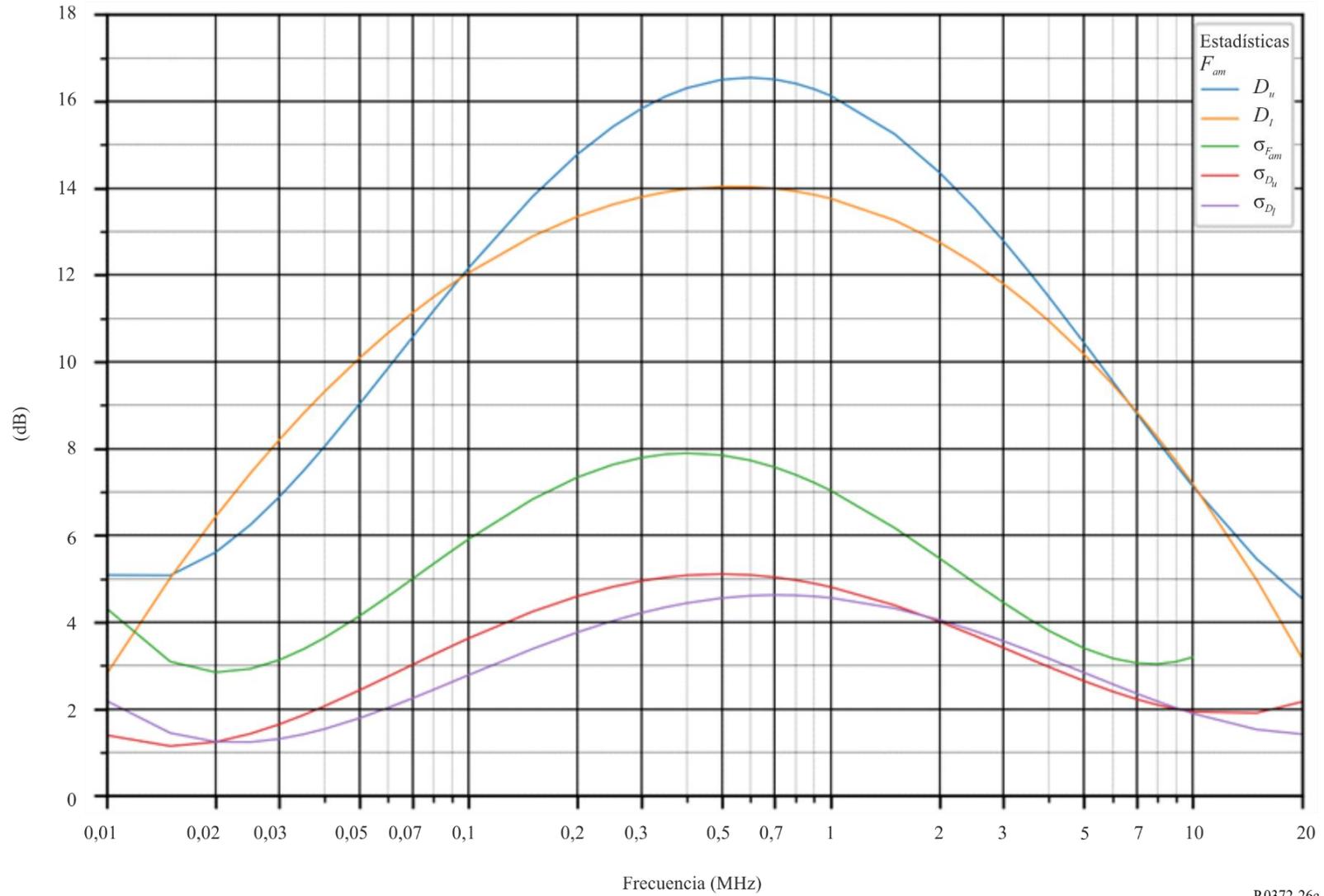


FIGURA 27a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Jun-jul-ago; 0800-1200 hora local)

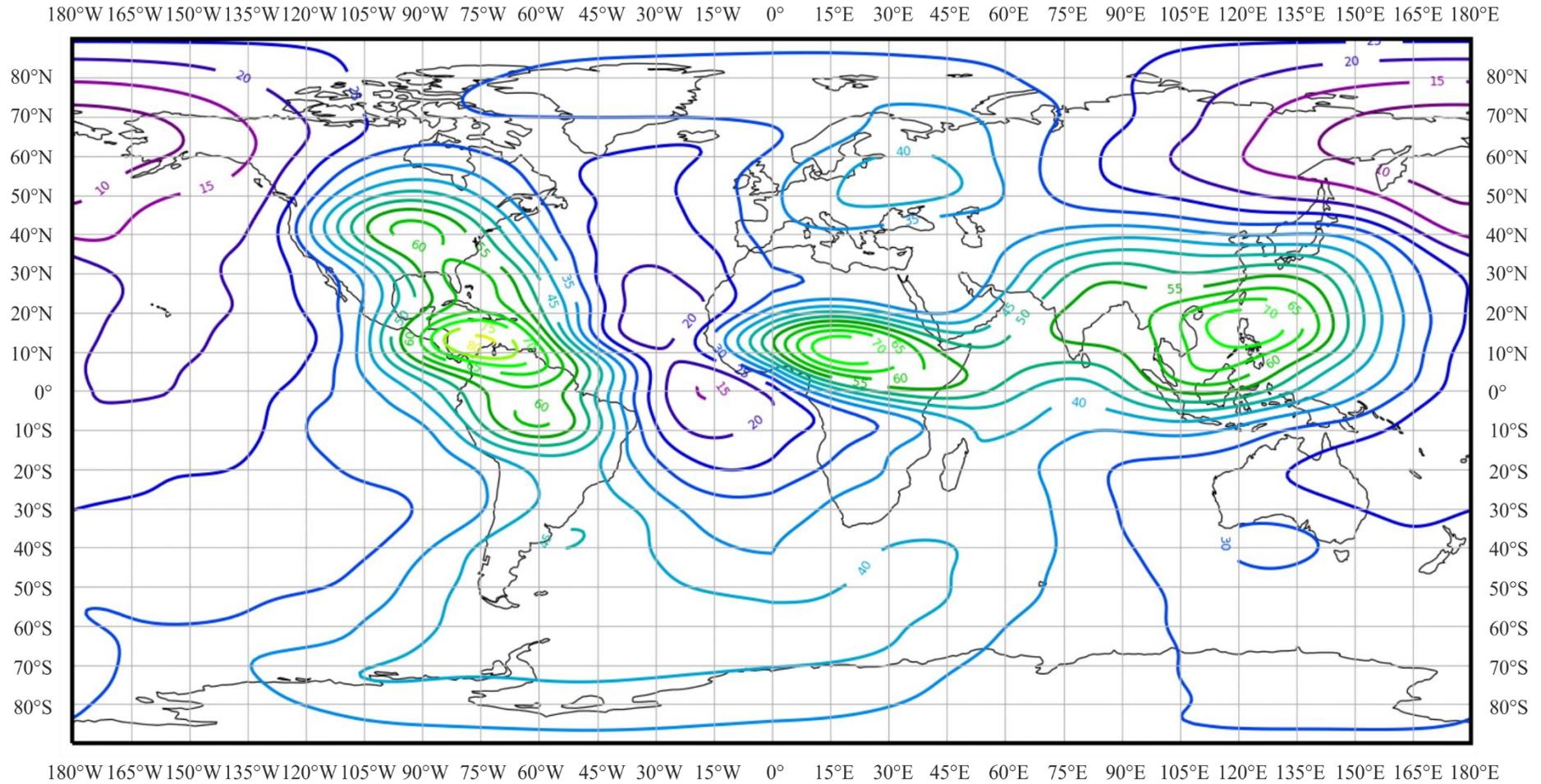


FIGURA 27b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 0800-1200 hora local)

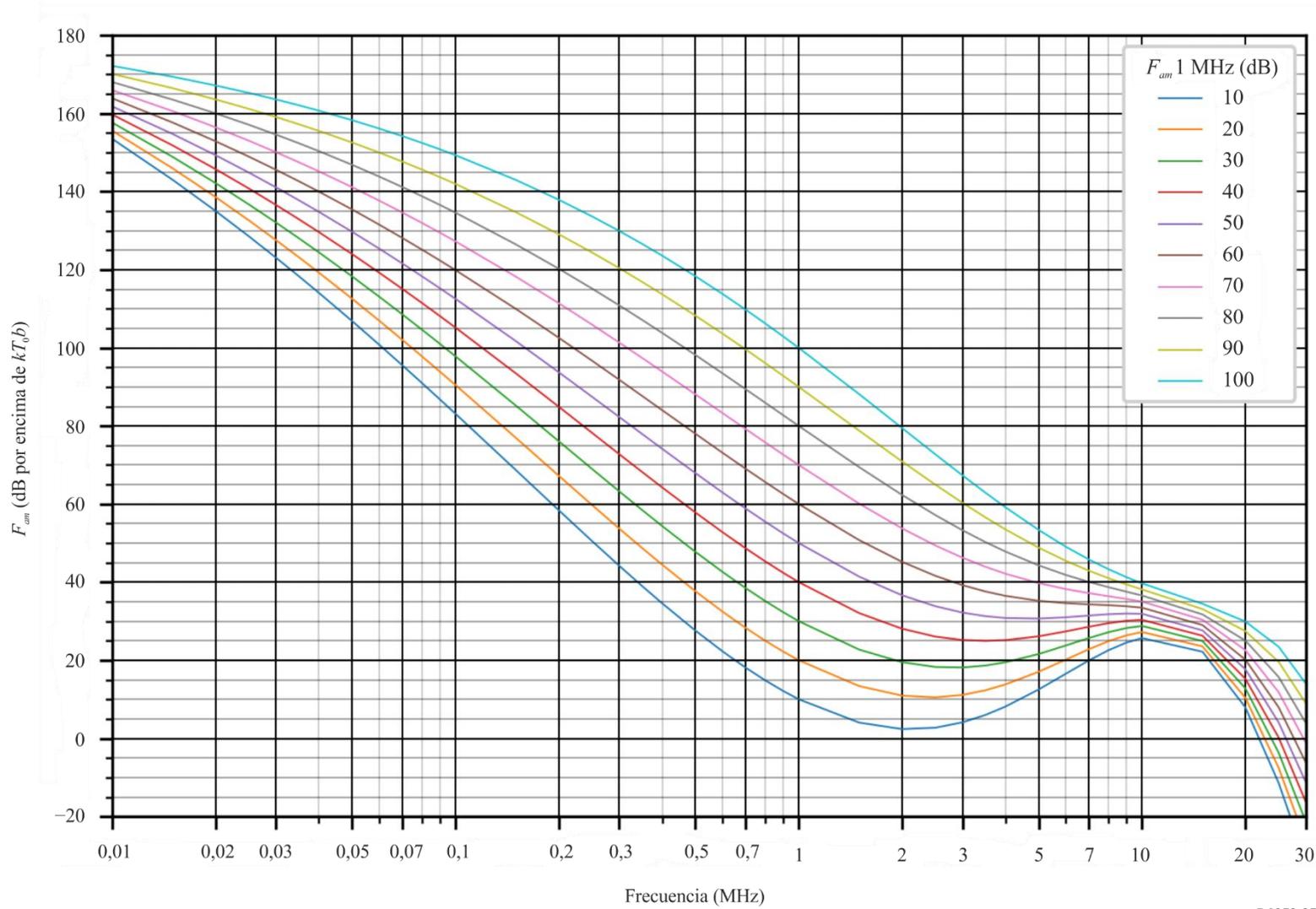


FIGURA 27c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 0800-1200 hora local)

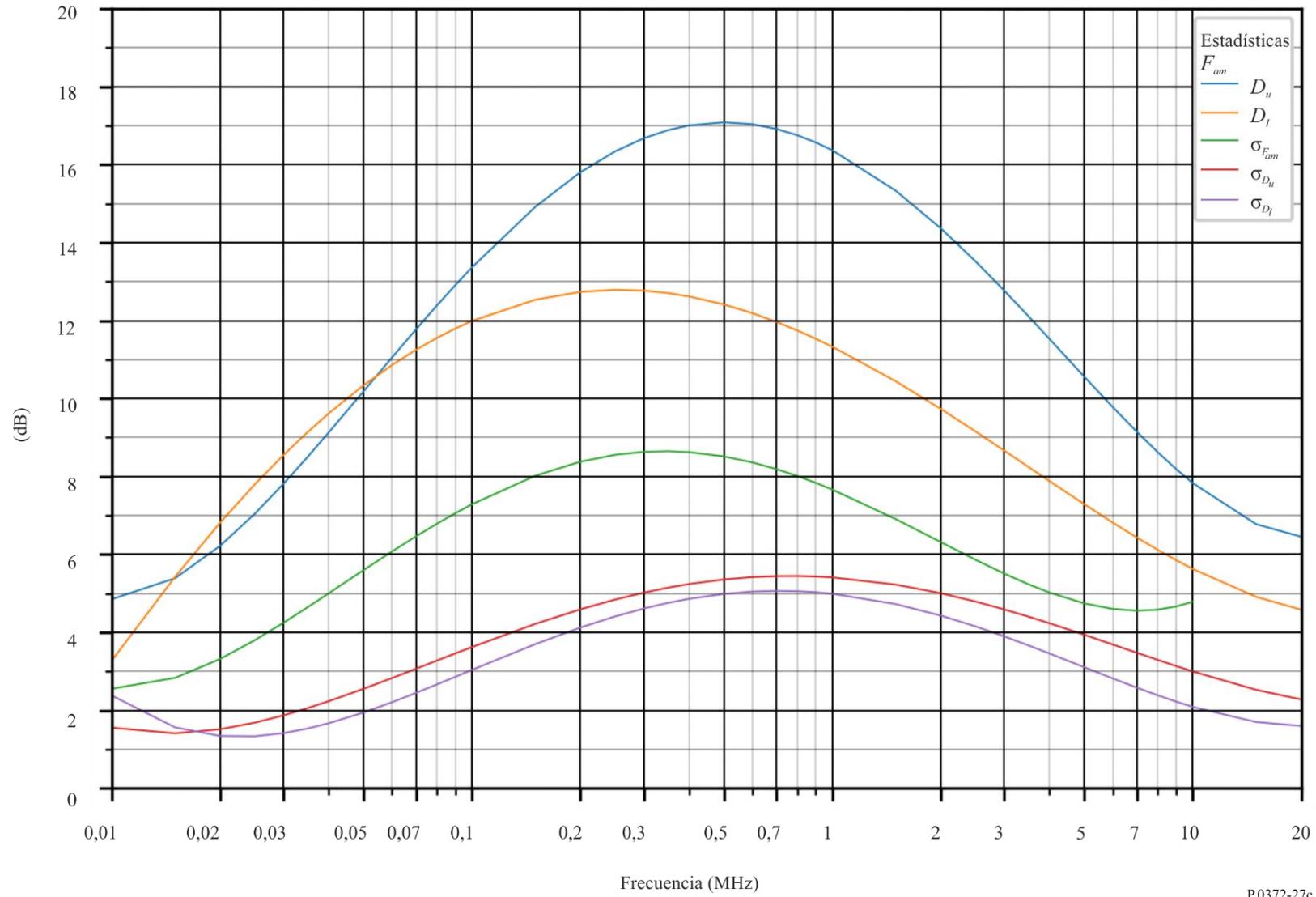


FIGURA 28a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Jun-jul-ago; 1200-1600 hora local)

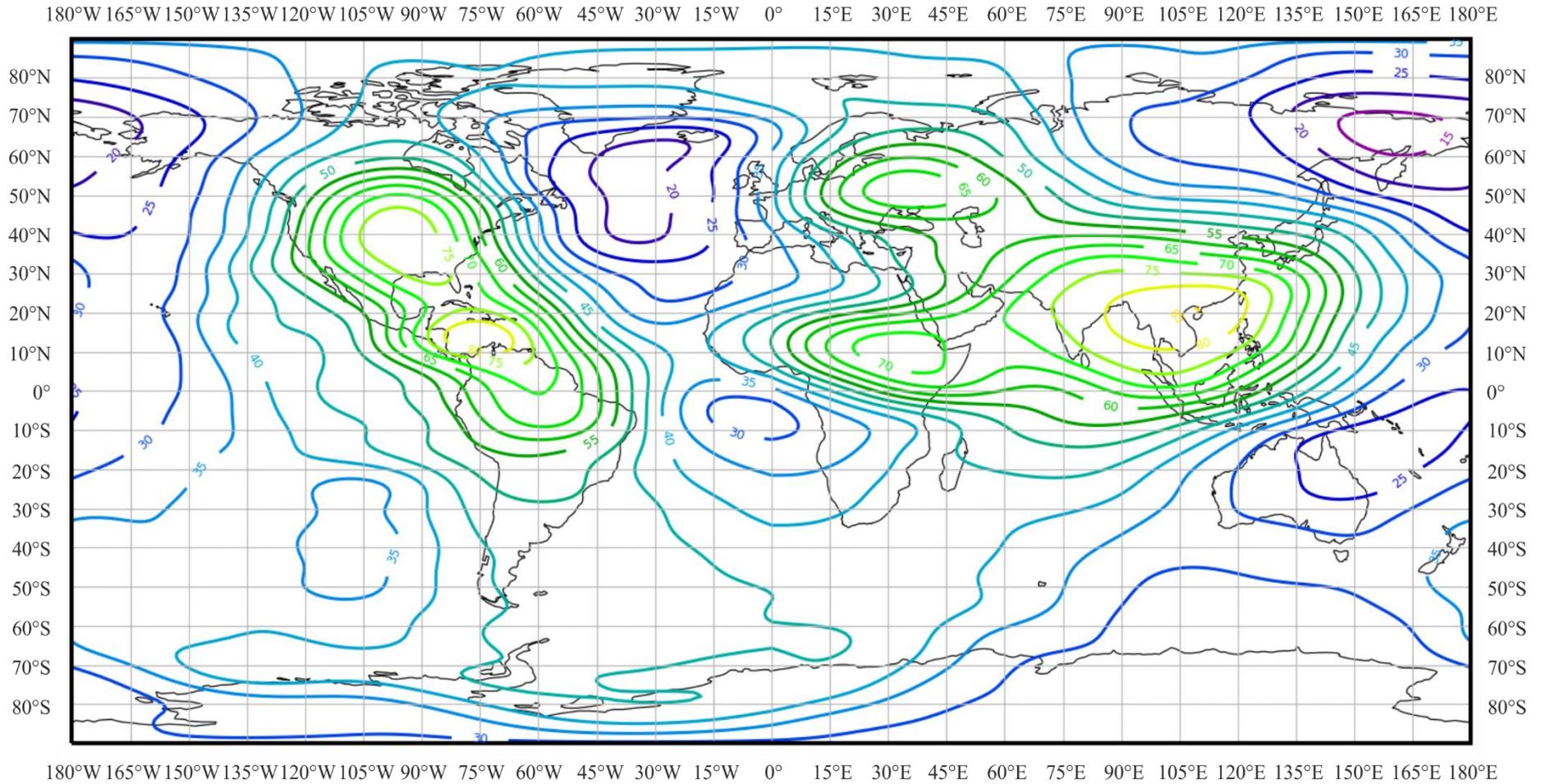


FIGURA 28b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 1200-1600 hora local)

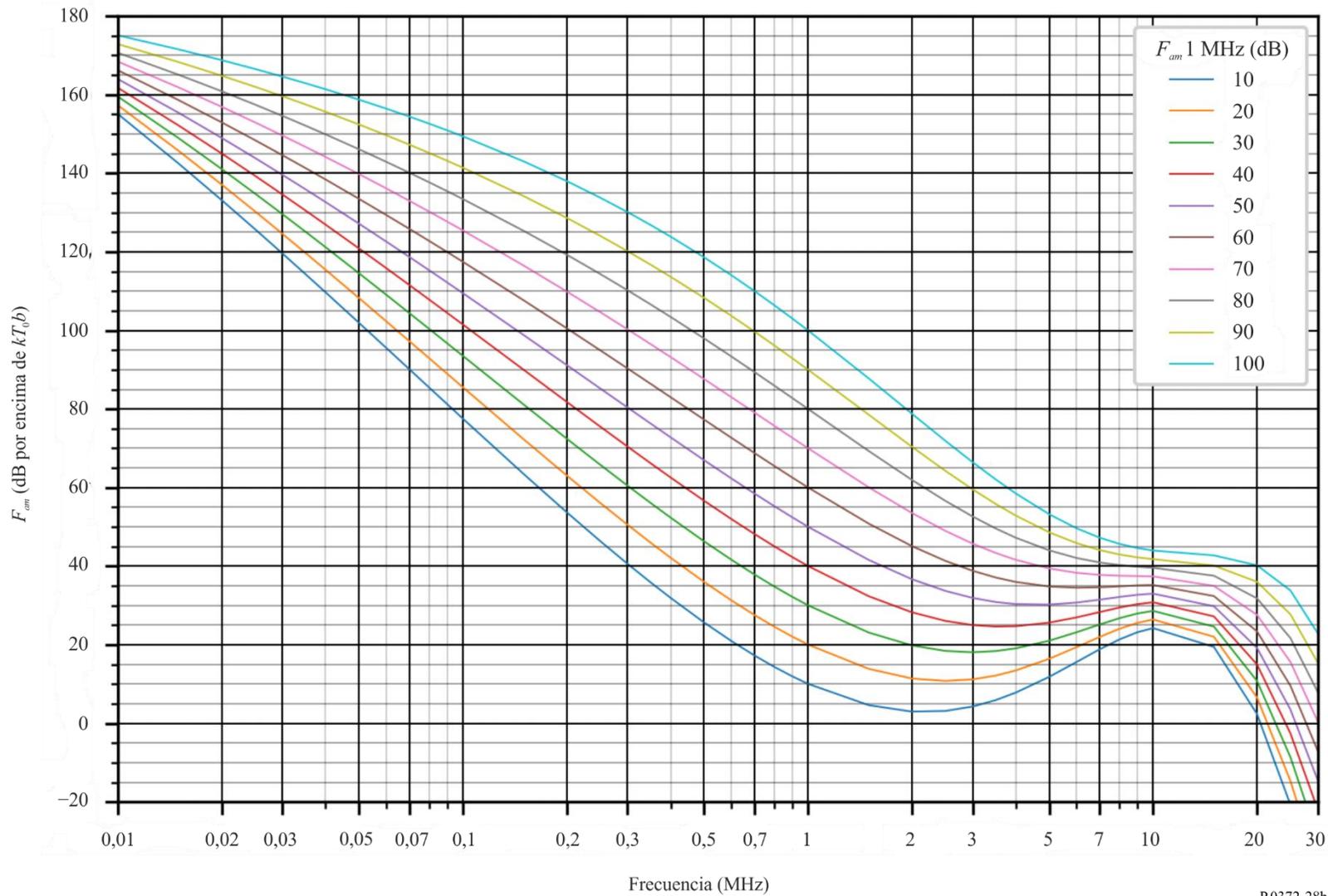


FIGURA 28c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 1200-1600 hora local)

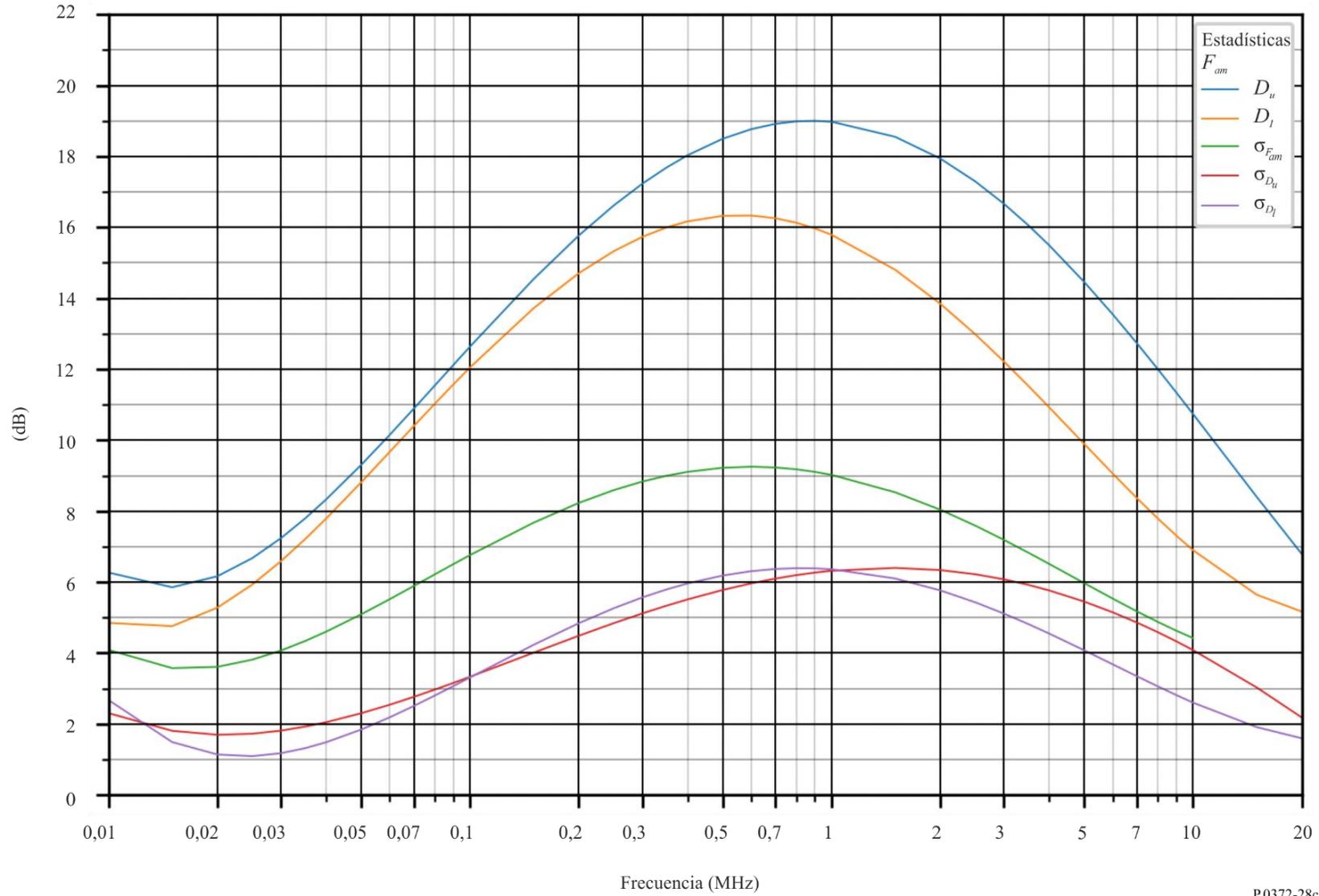


FIGURA 29a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Jun-jul-ago; 1600-2000 hora local)

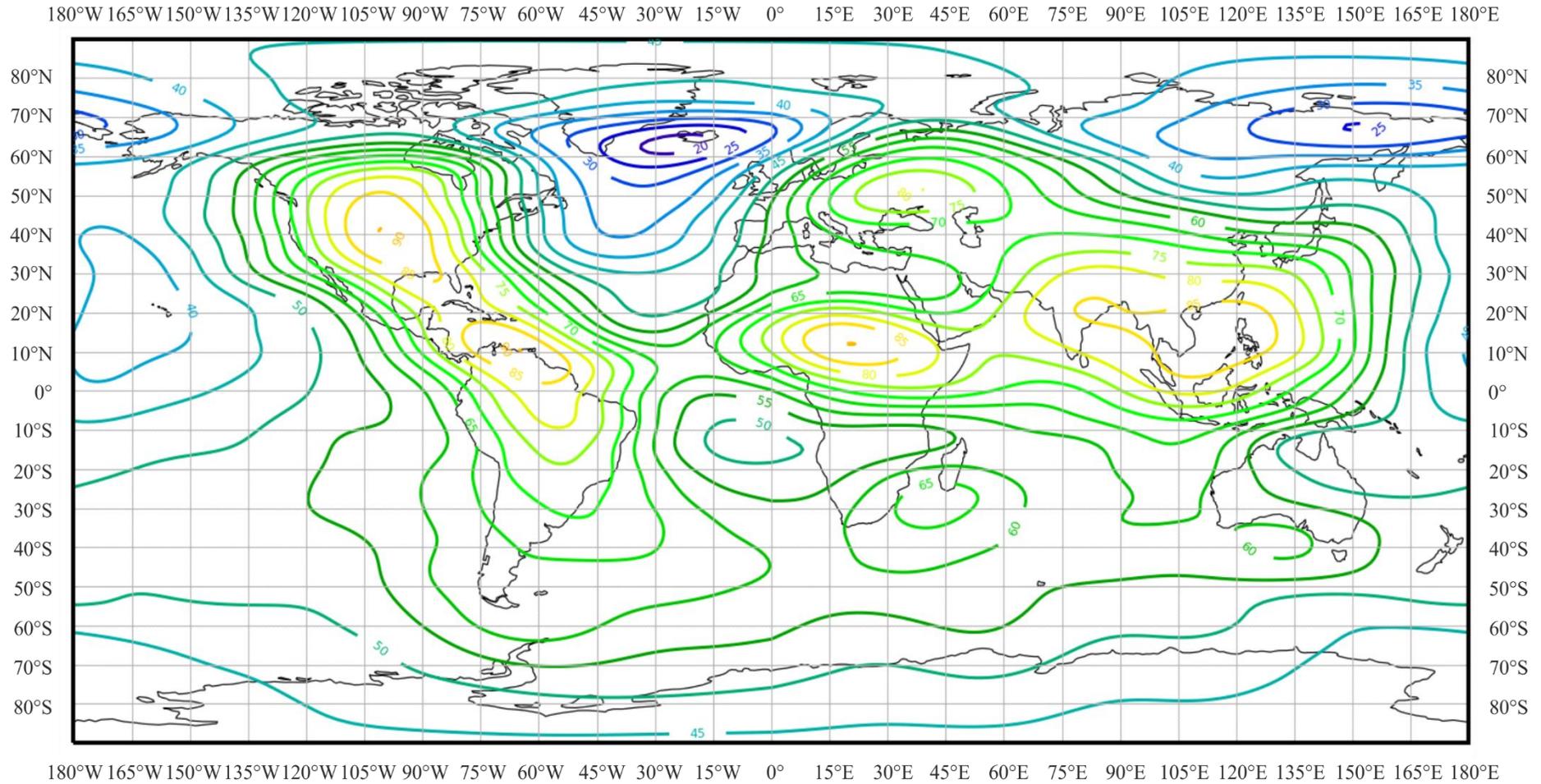


FIGURA 29b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 1600-2000 hora local)

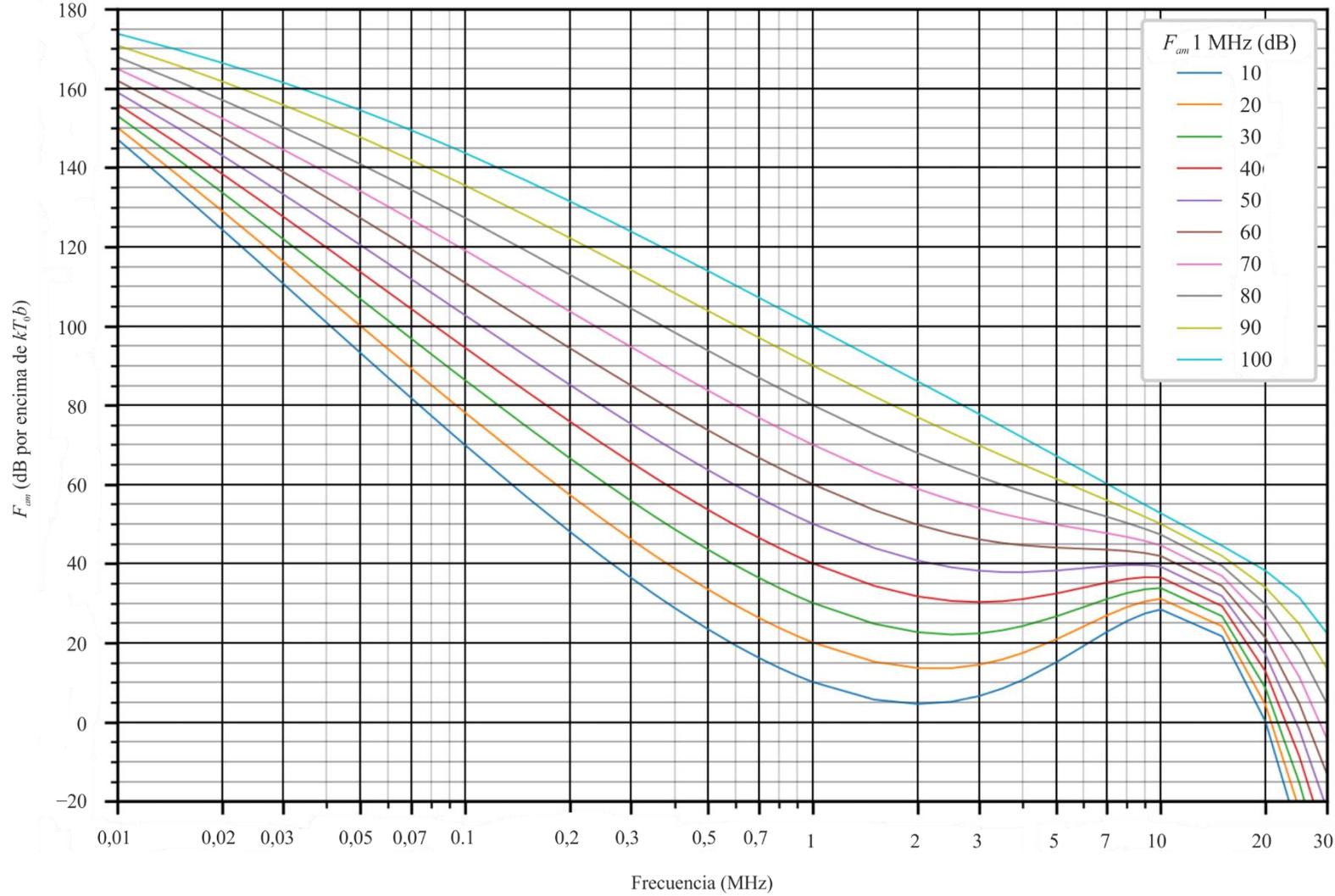


FIGURA 29c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 1600-2000 hora local)

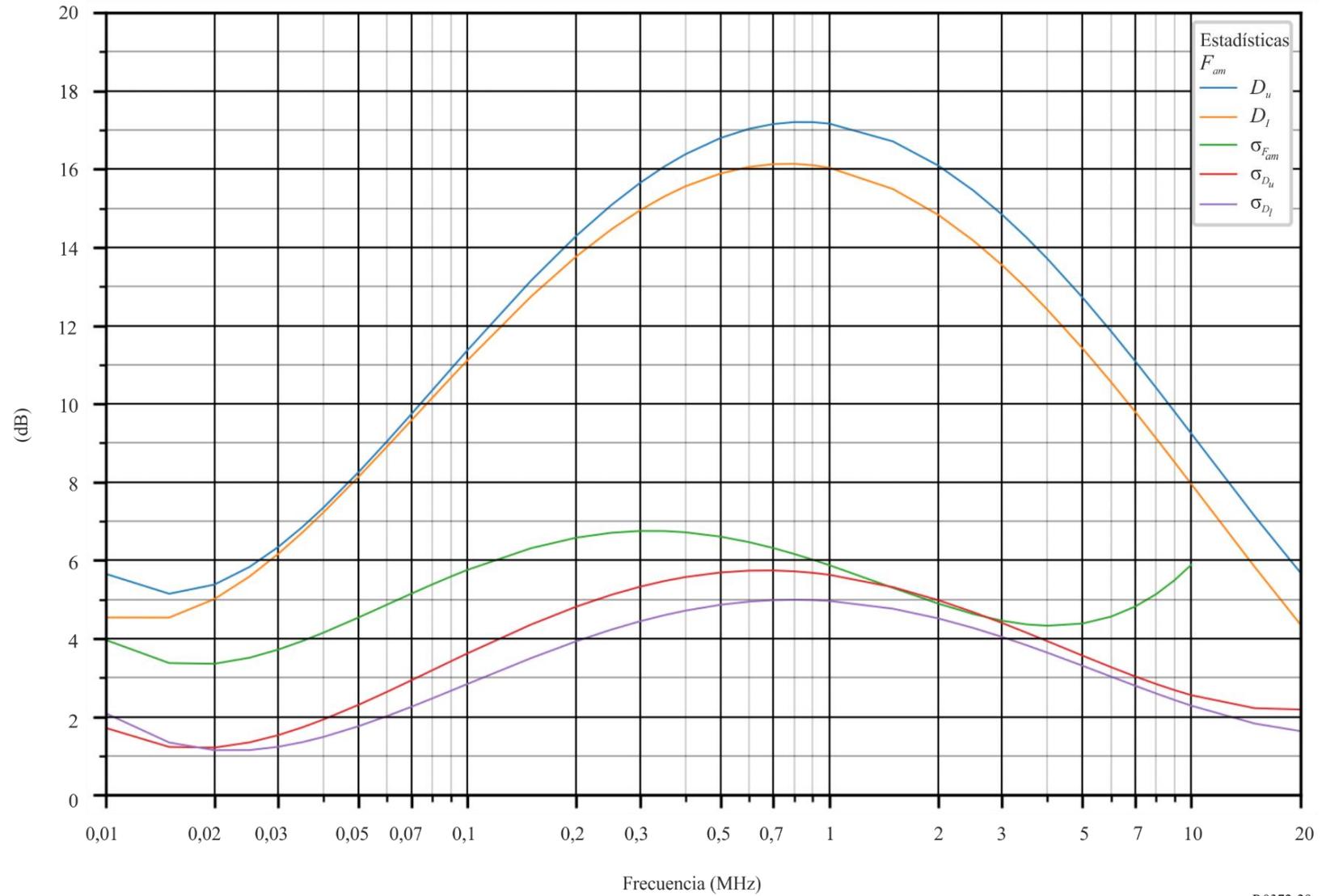


FIGURA 30a
Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Jun-jul-ago; 2000-2400 hora local)

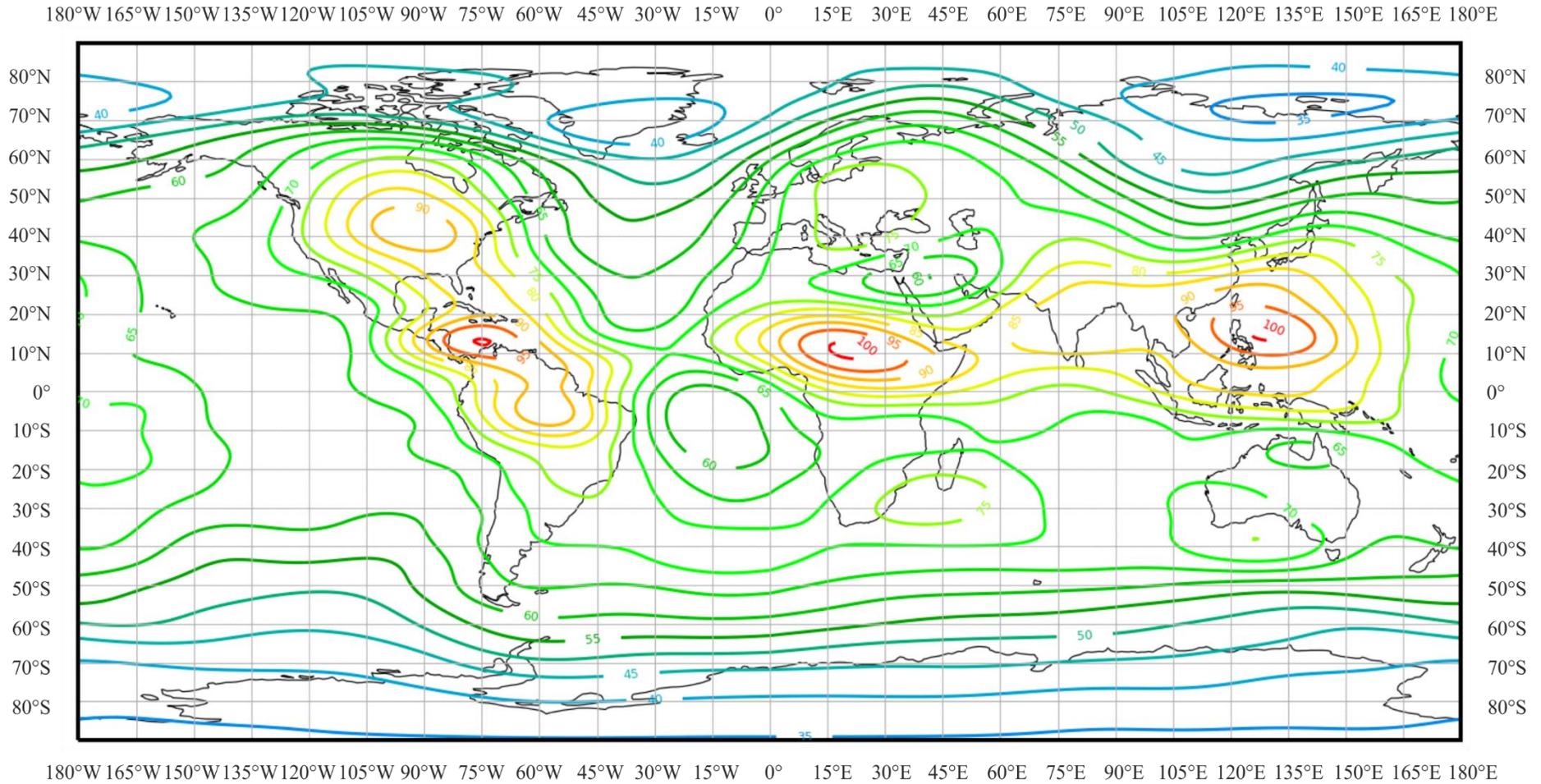


FIGURA 30b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 2000-2400 hora local)

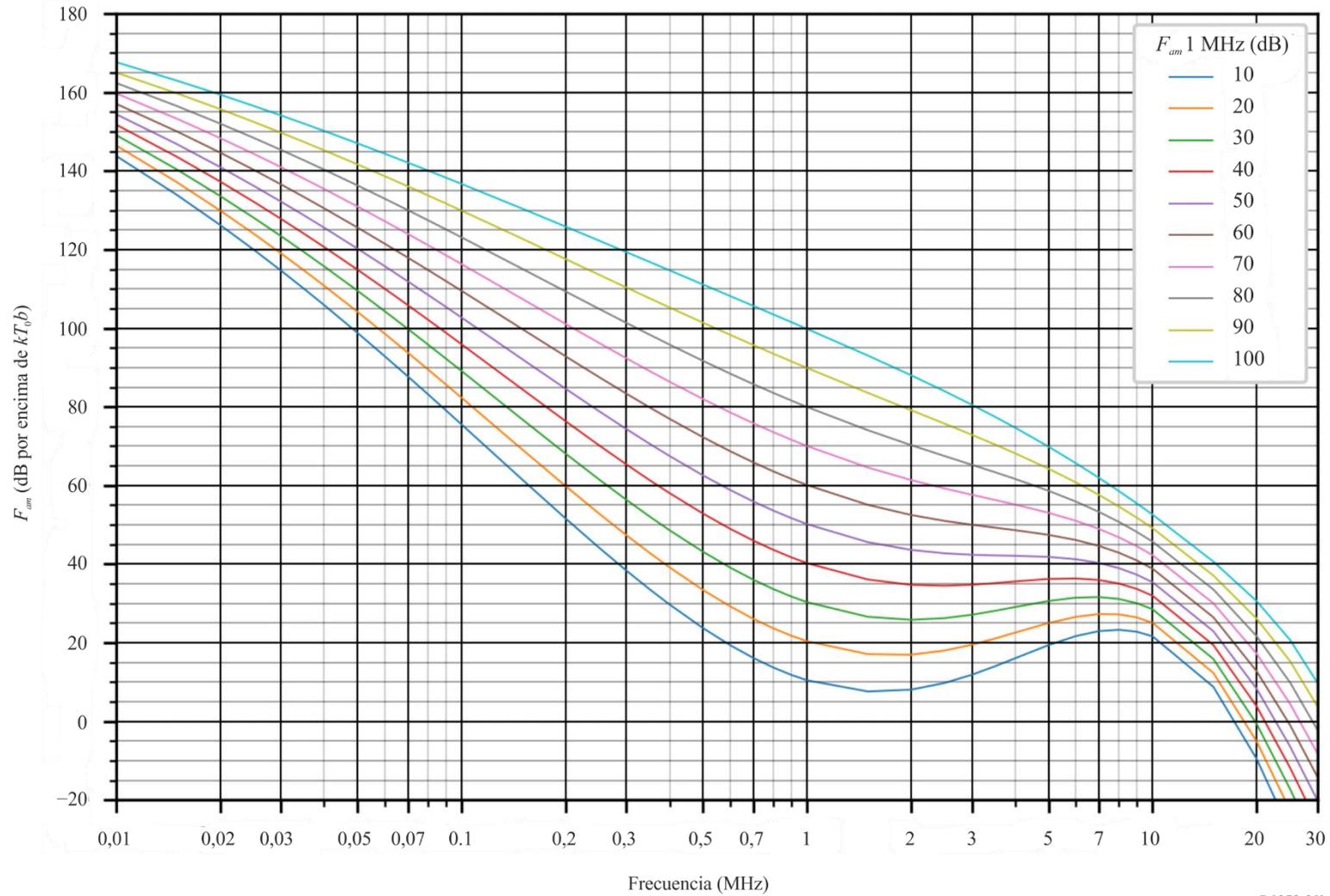


FIGURA 30c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: jun-jul-ago; hemisferio Sur: dic-ene-feb; 2000-2400 hora local)

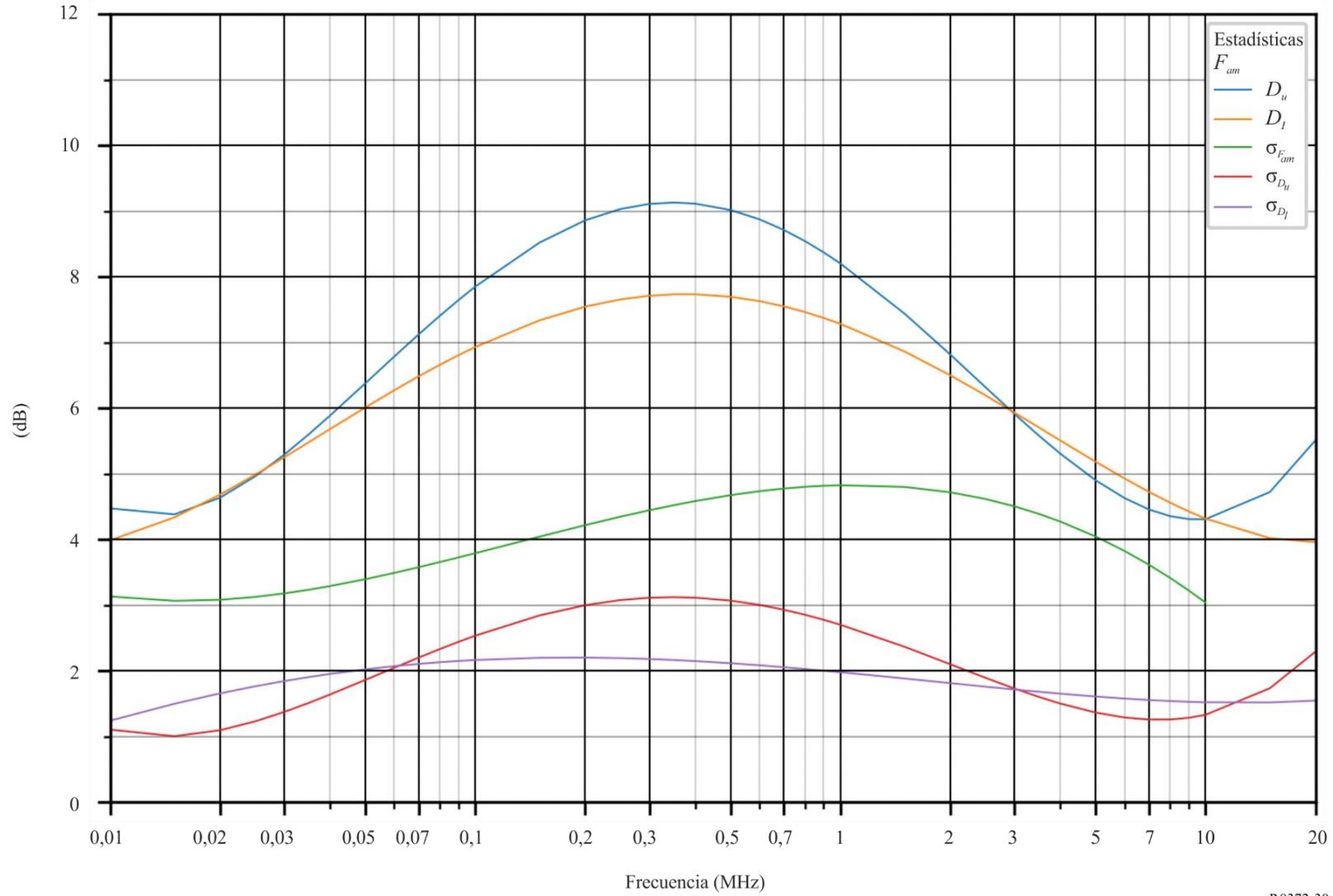


FIGURA 31a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Sep-oct-nov; 0000-0400 hora local)

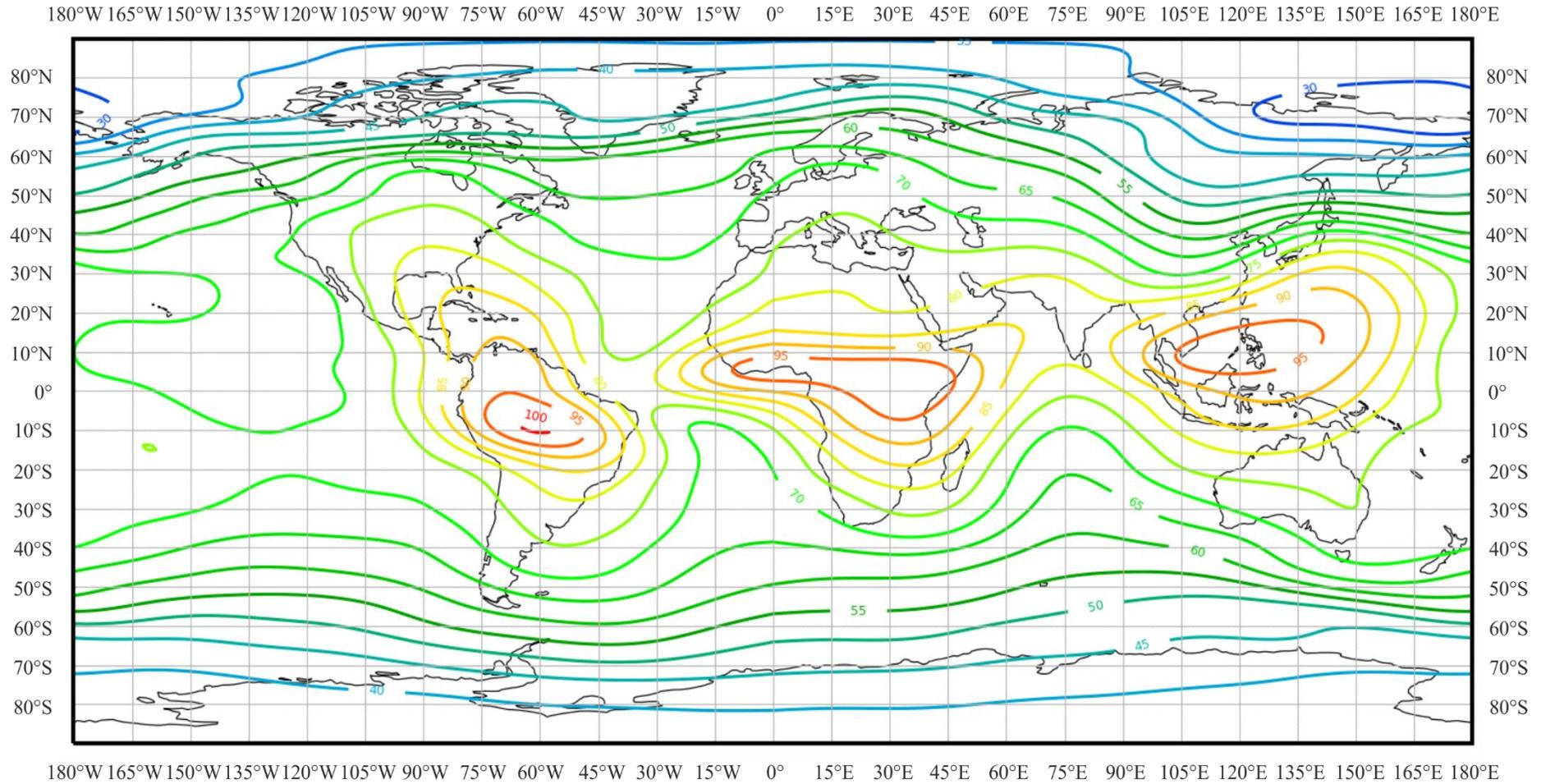


FIGURA 31b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 0000-0400 hora local)

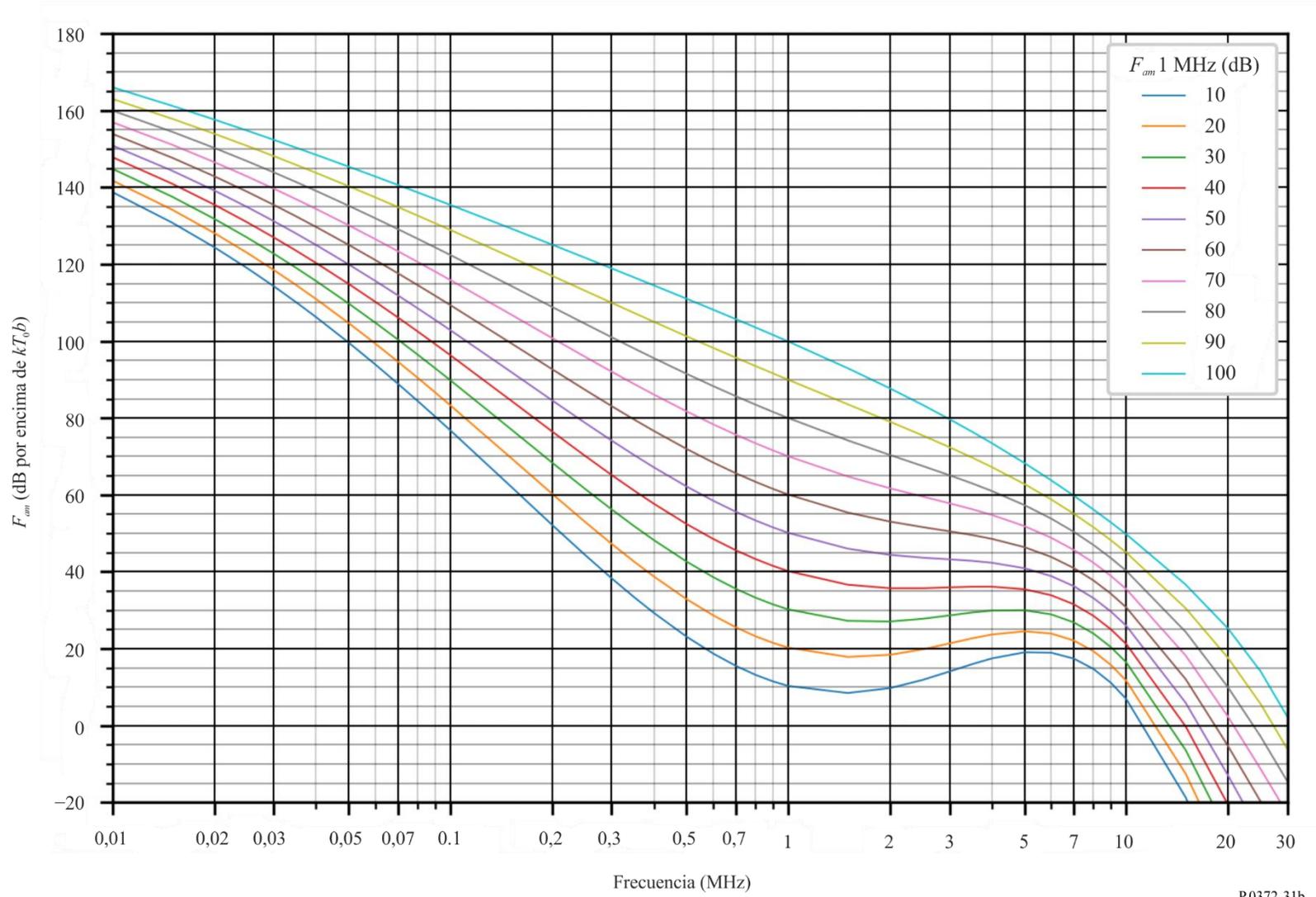


FIGURA 31c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 0000-0400 hora local)

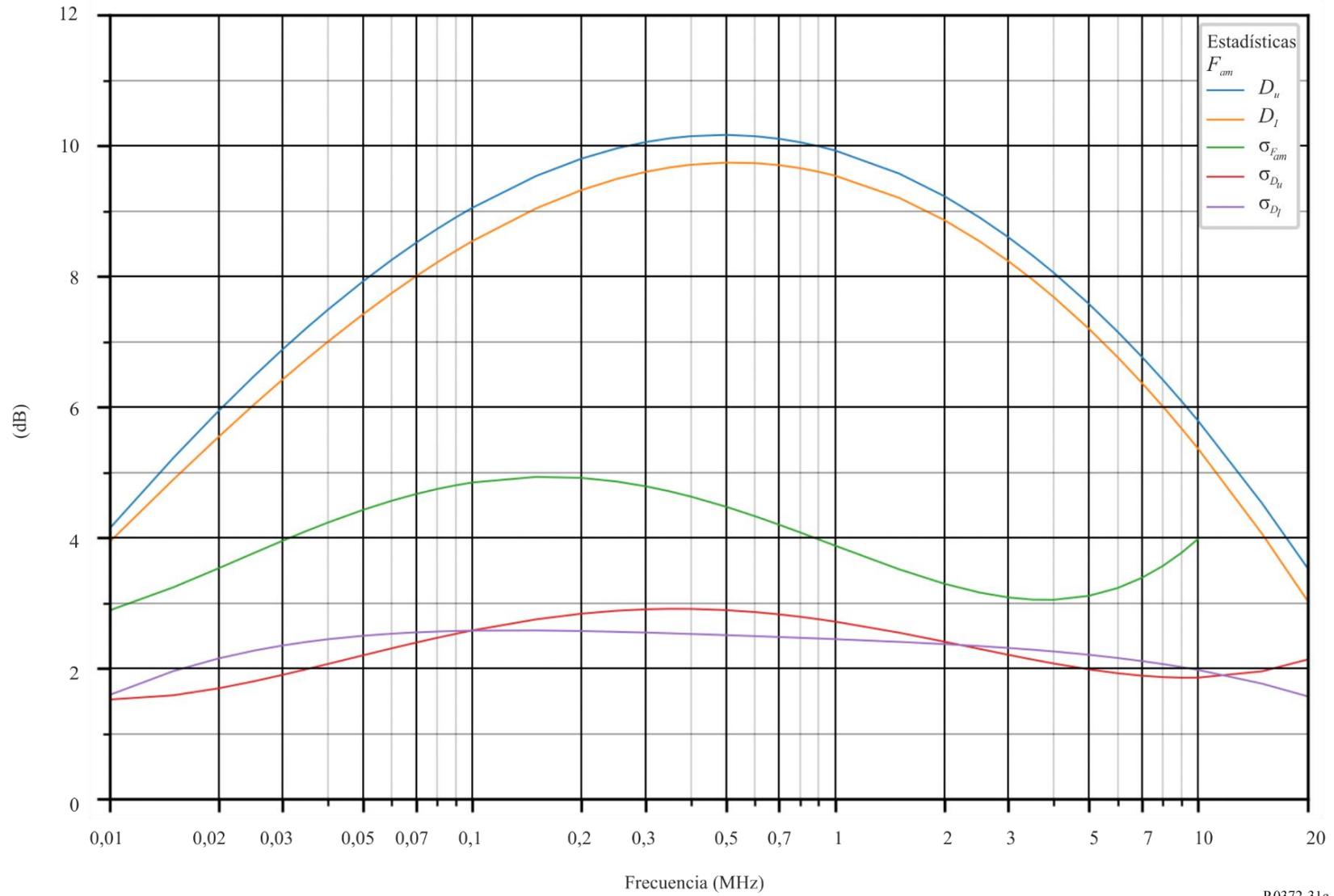


FIGURA 32a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Sep-oct-nov; 0400-0800 hora local)

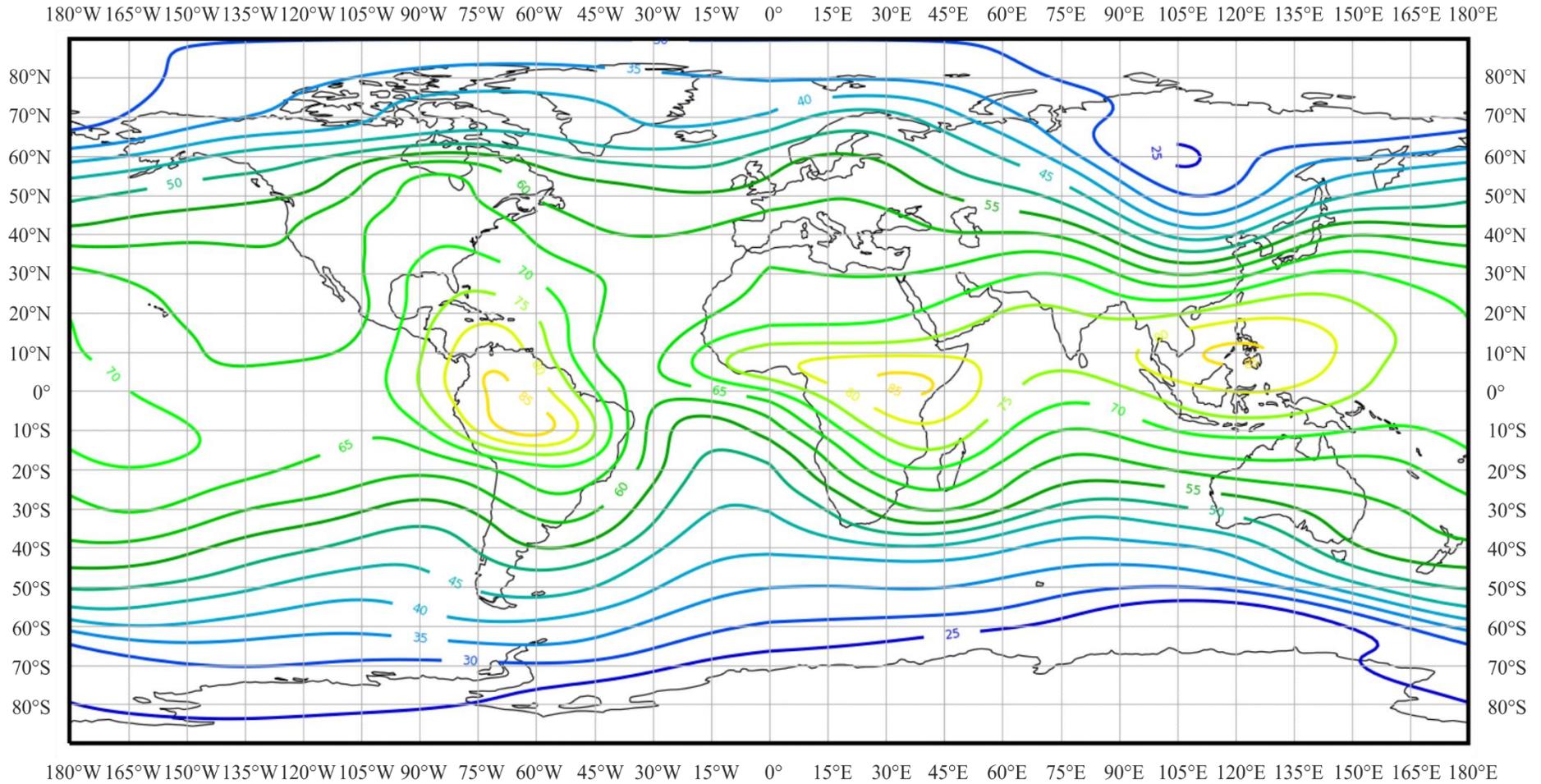


FIGURA 32b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 0400-0800 hora local)

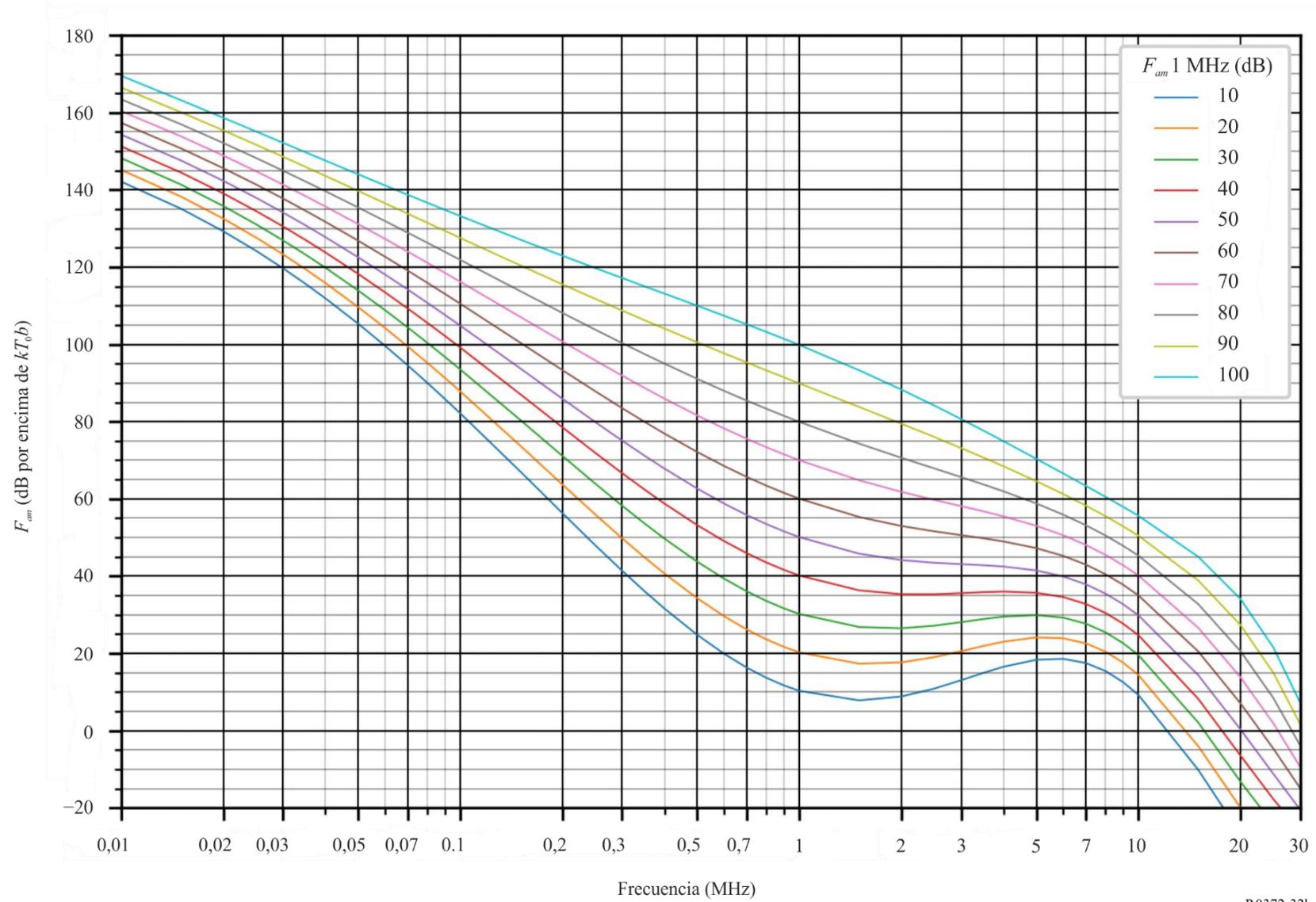


FIGURA 32c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 0400-0800 hora local)

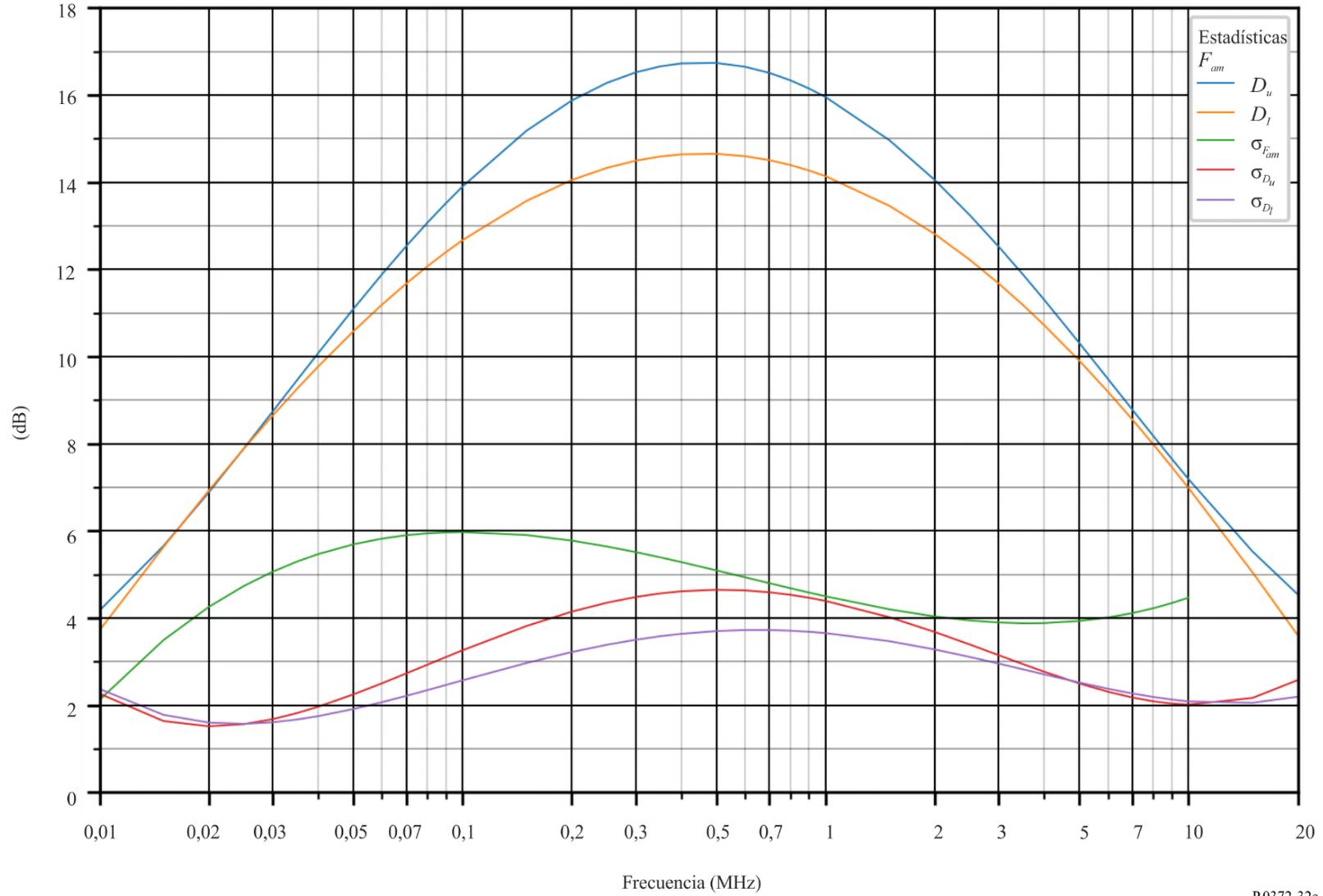


FIGURA 33a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Sep-oct-nov; 0800-1200 hora local)

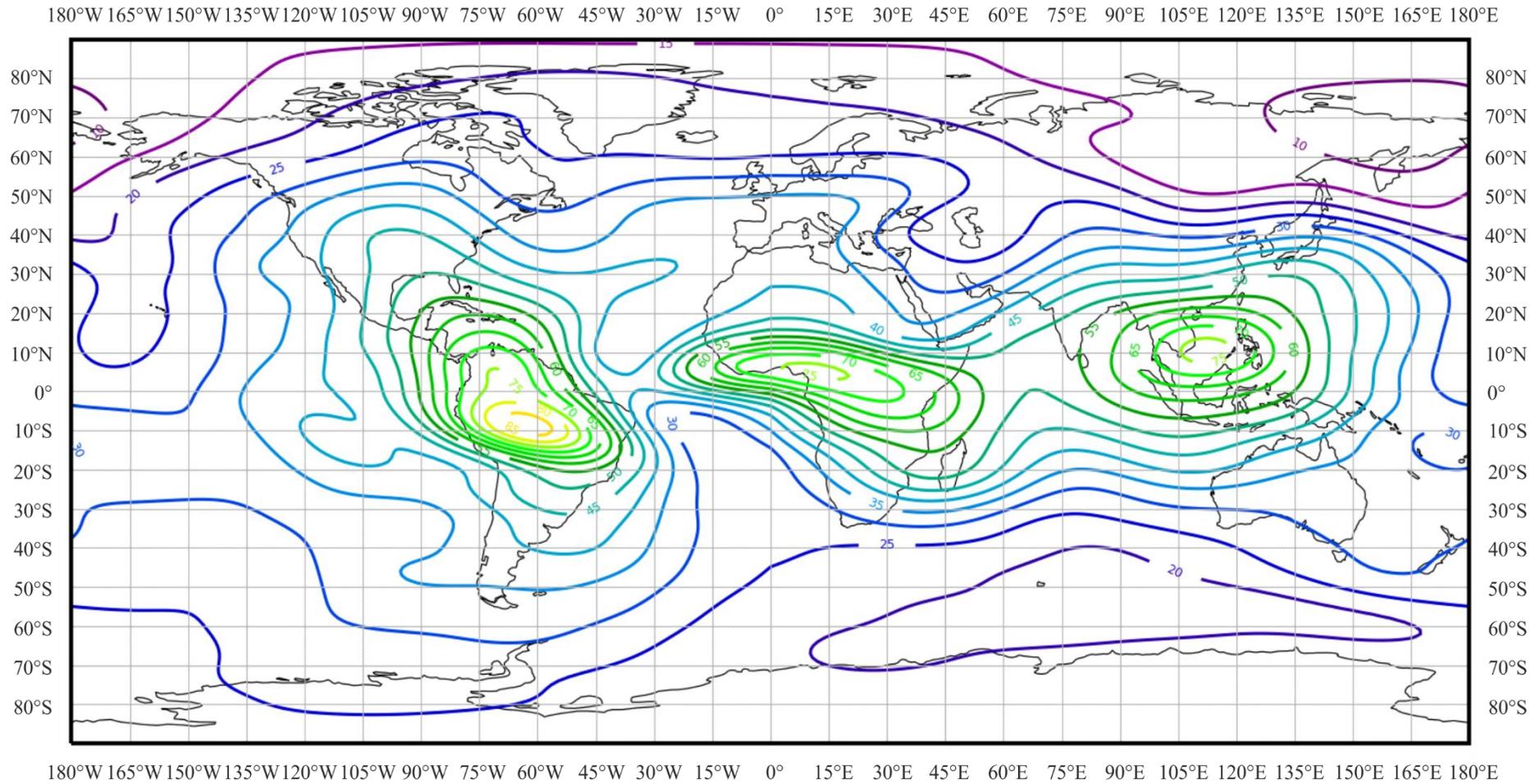


FIGURA 33b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 0800-1200 hora local)

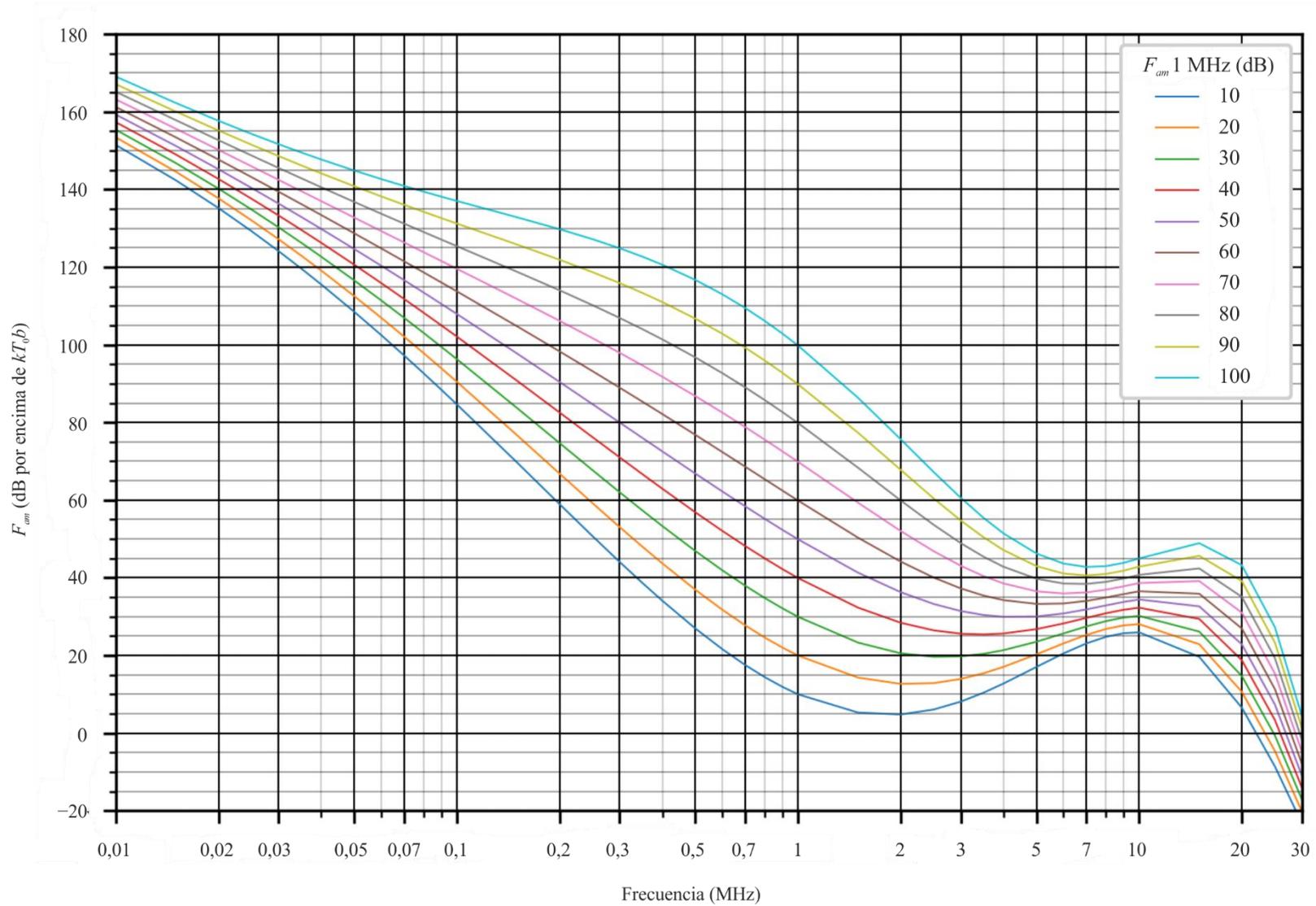


FIGURA 33c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 0800-1200 hora local)

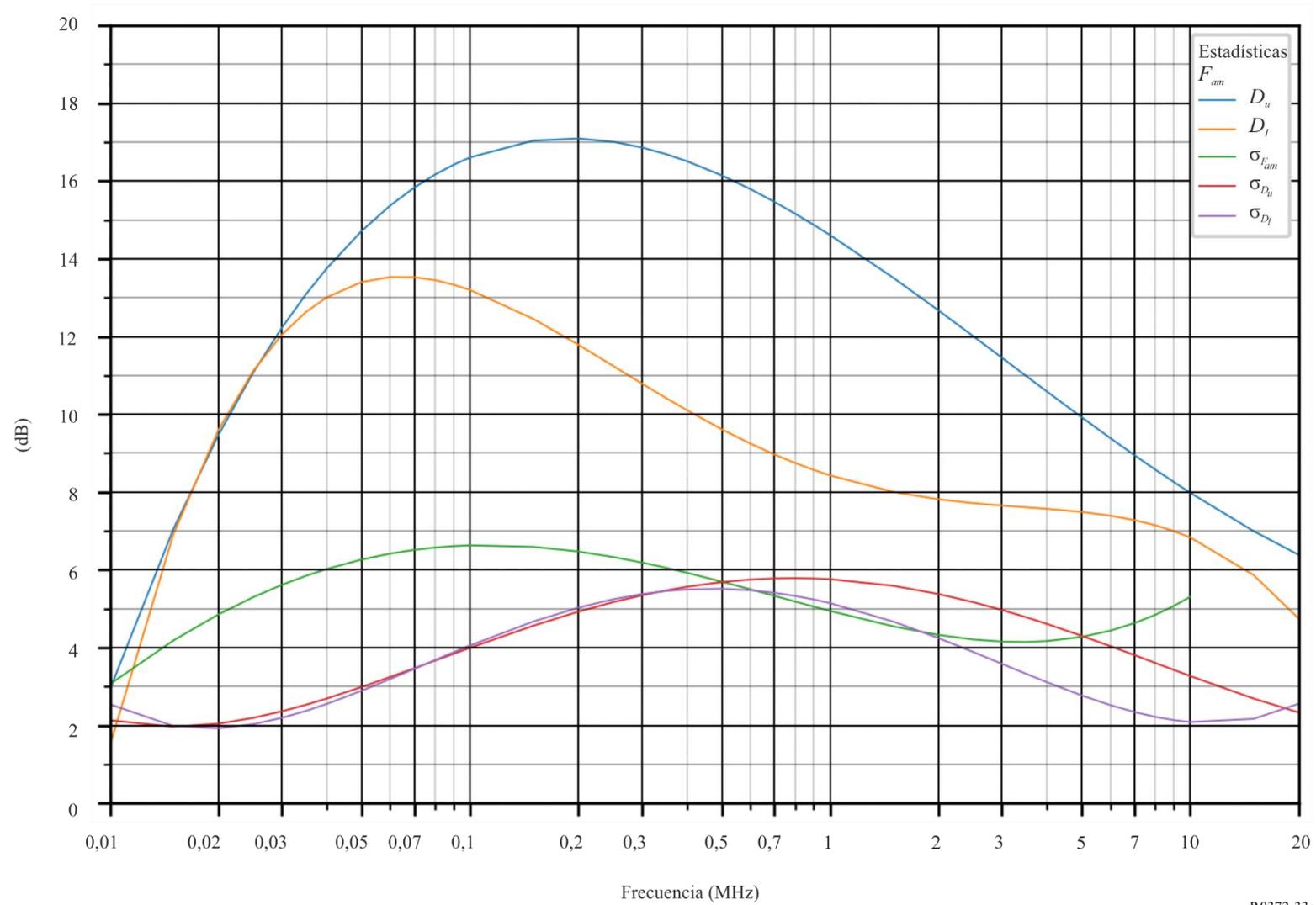


FIGURA 34a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Sep-oct-nov; 1200-1600 hora local)

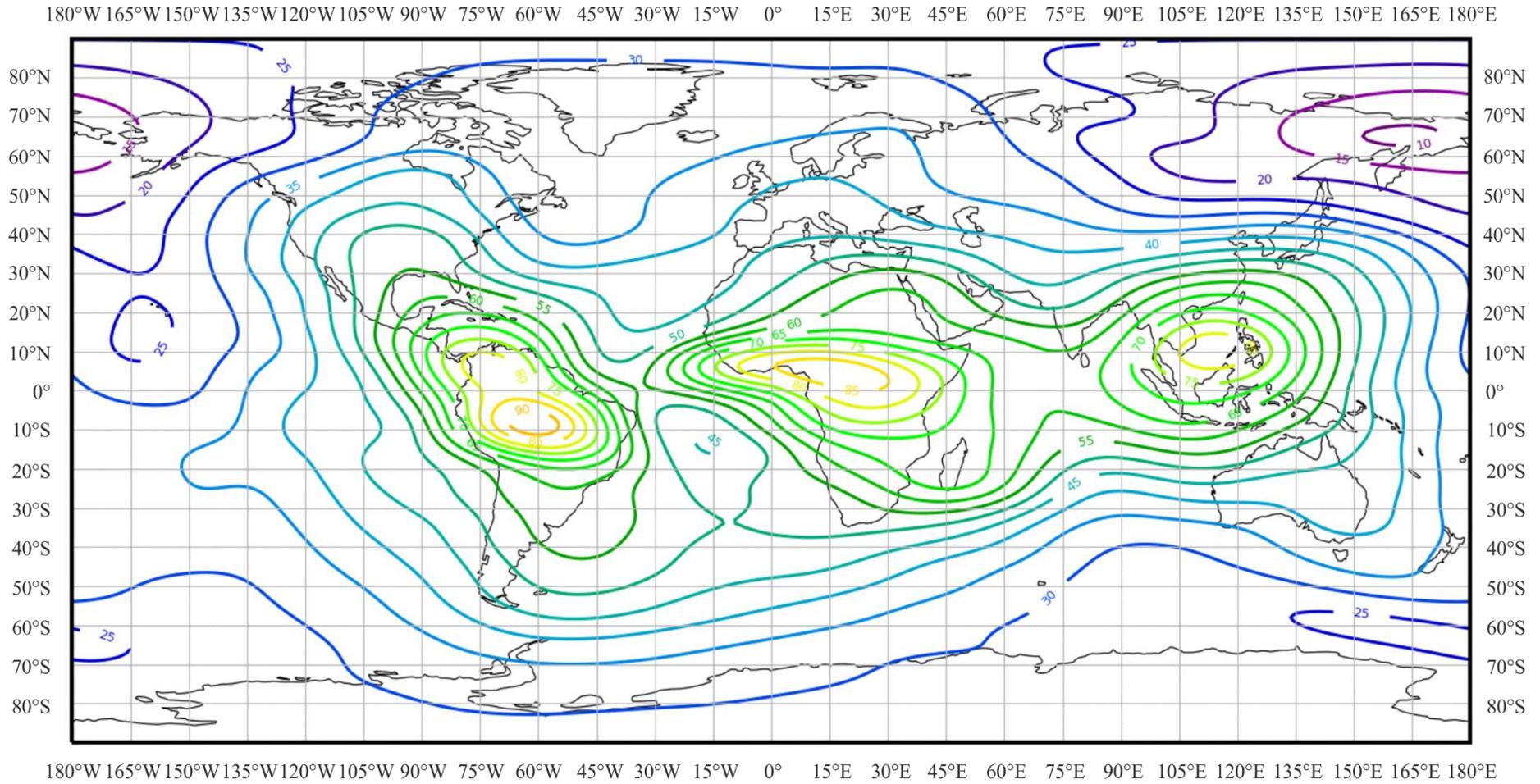


FIGURA 34b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 1200-1600 hora local)

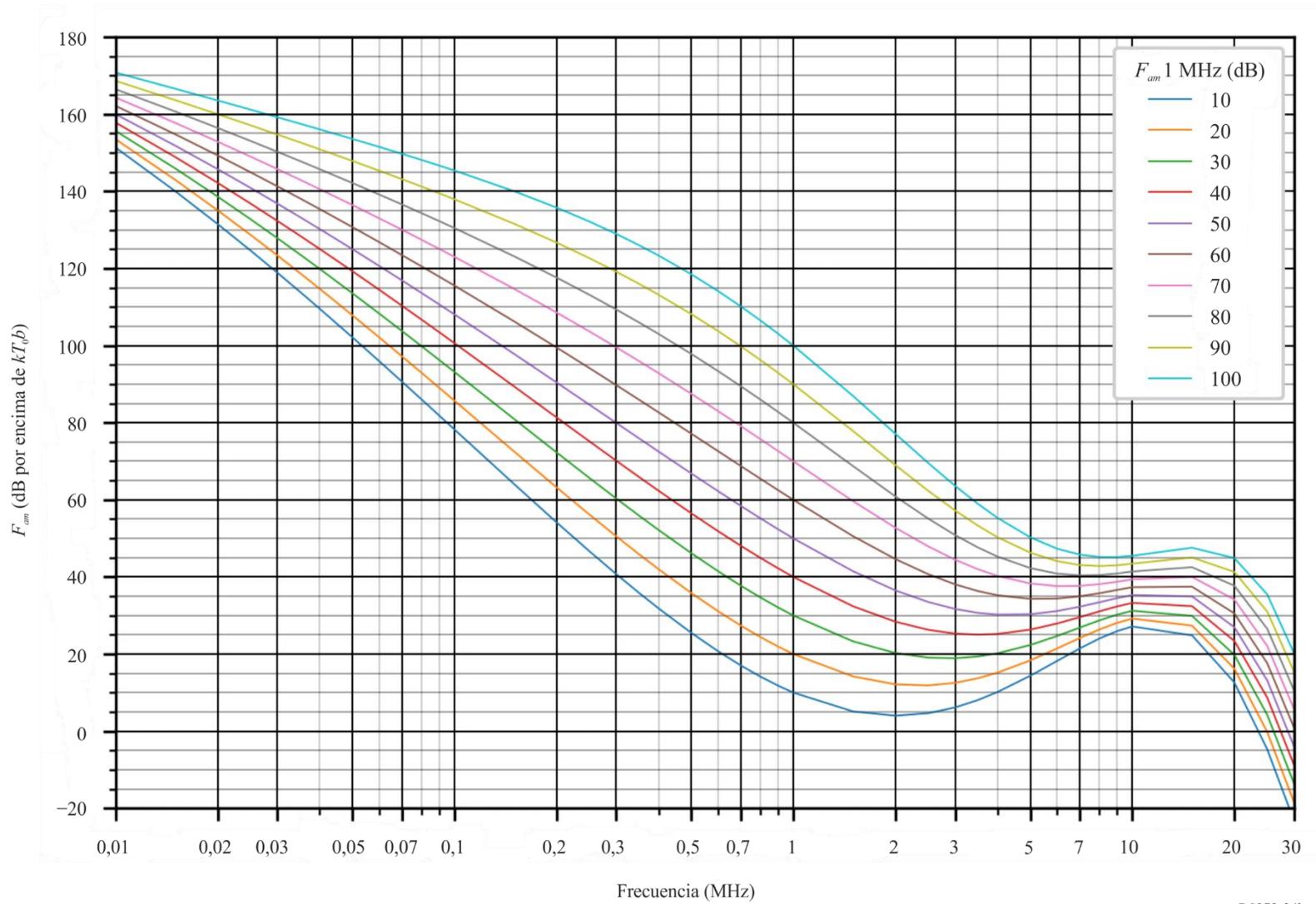


FIGURA 34c
 Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 1200-1600 hora local)

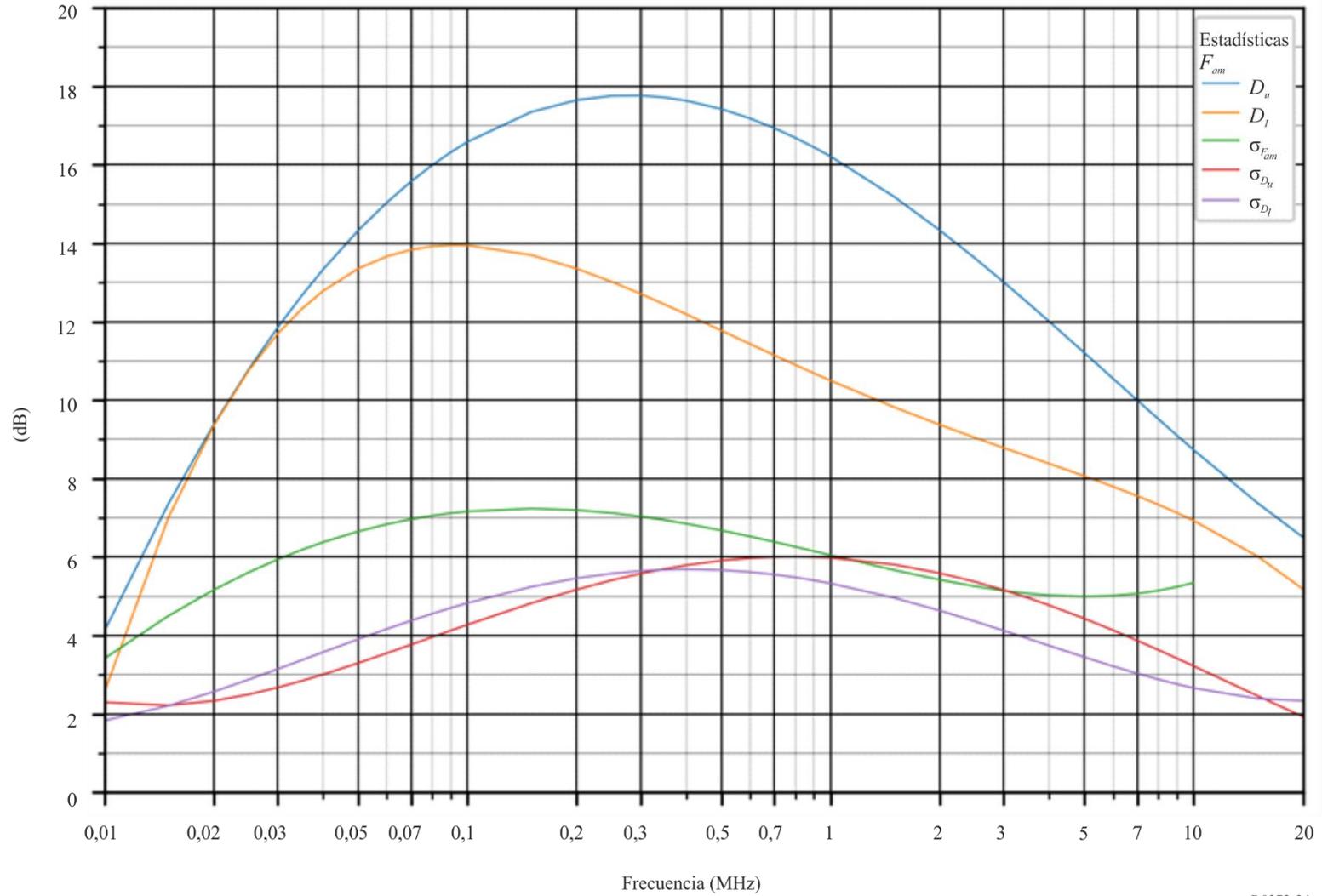


FIGURA 35a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Sep-oct-nov; 1600-2000 hora local)

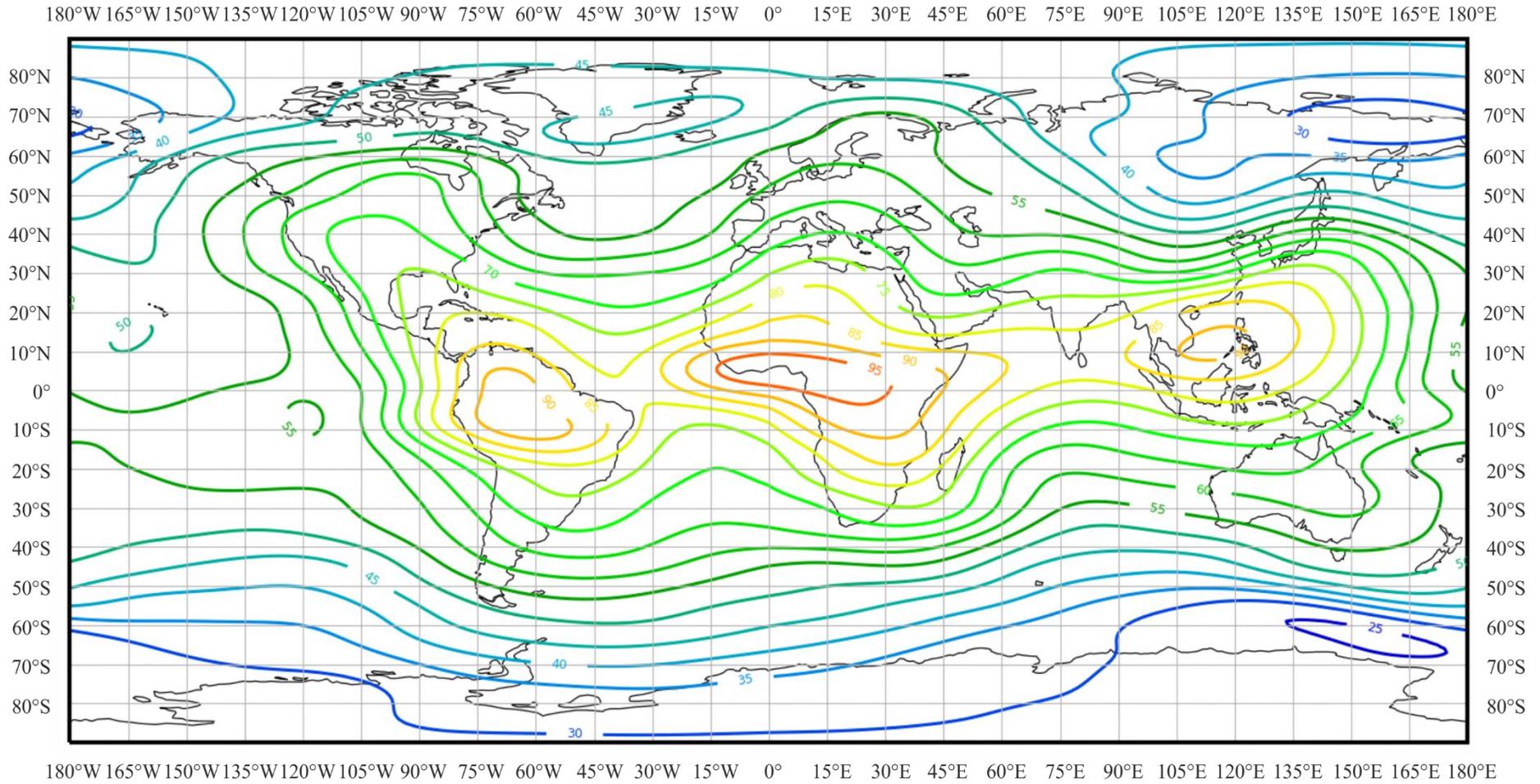


FIGURA 35b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 1600-2000 hora local)

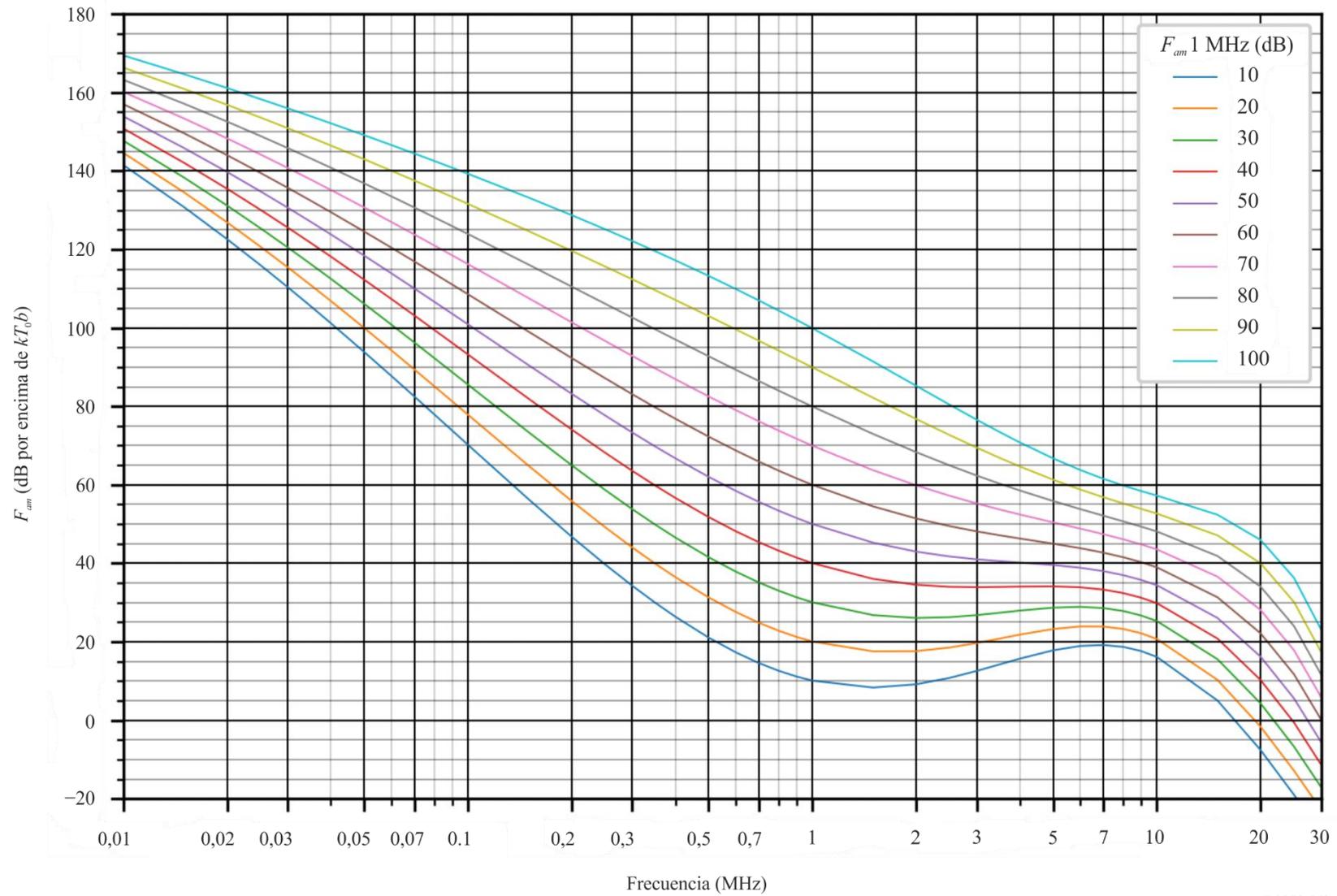


FIGURA 35c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 1600-2000 hora local)

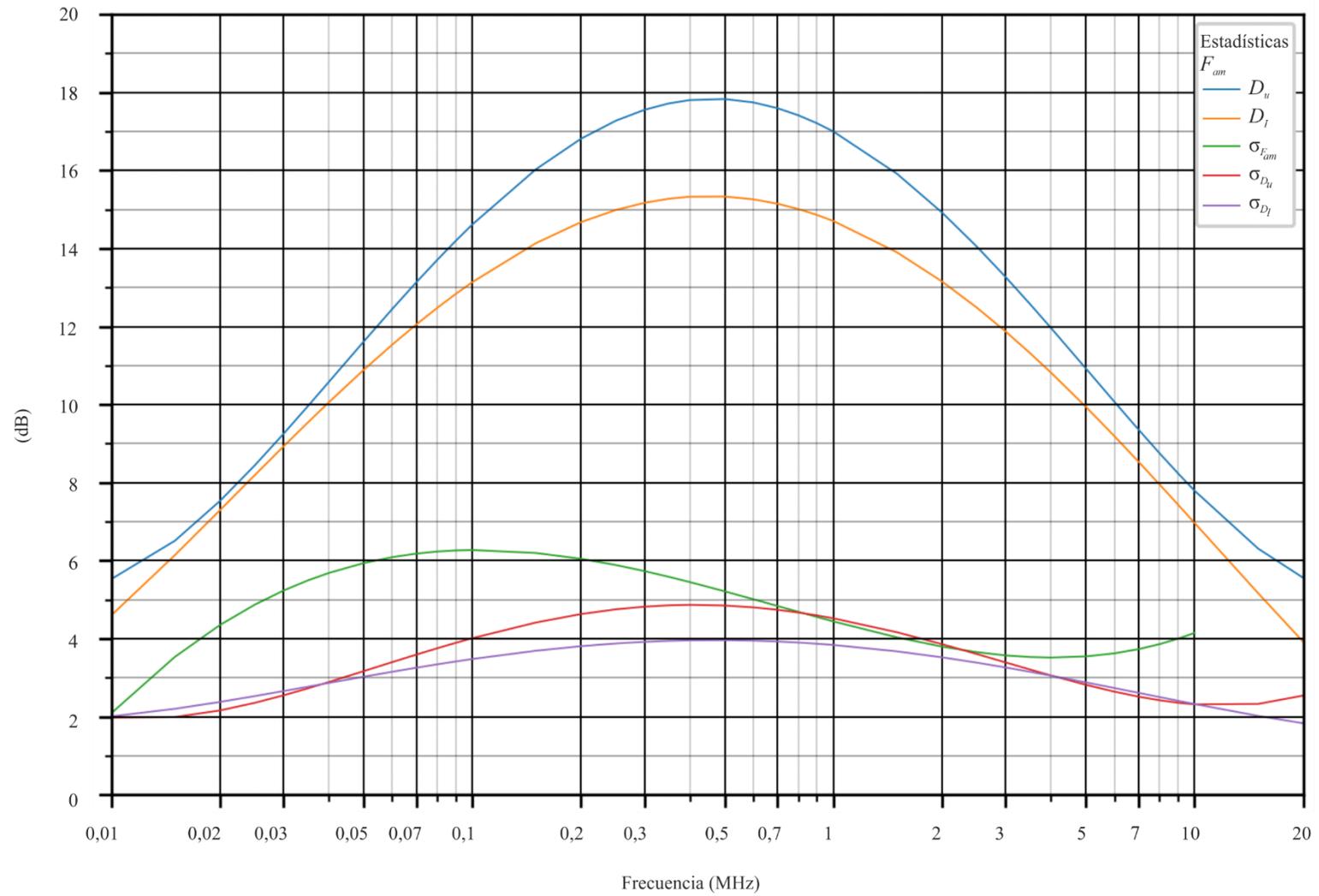


FIGURA 36a

Valores probables del ruido atmosférico, F_{atm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz
(Sep-oct-nov; 2000-2400 hora local)

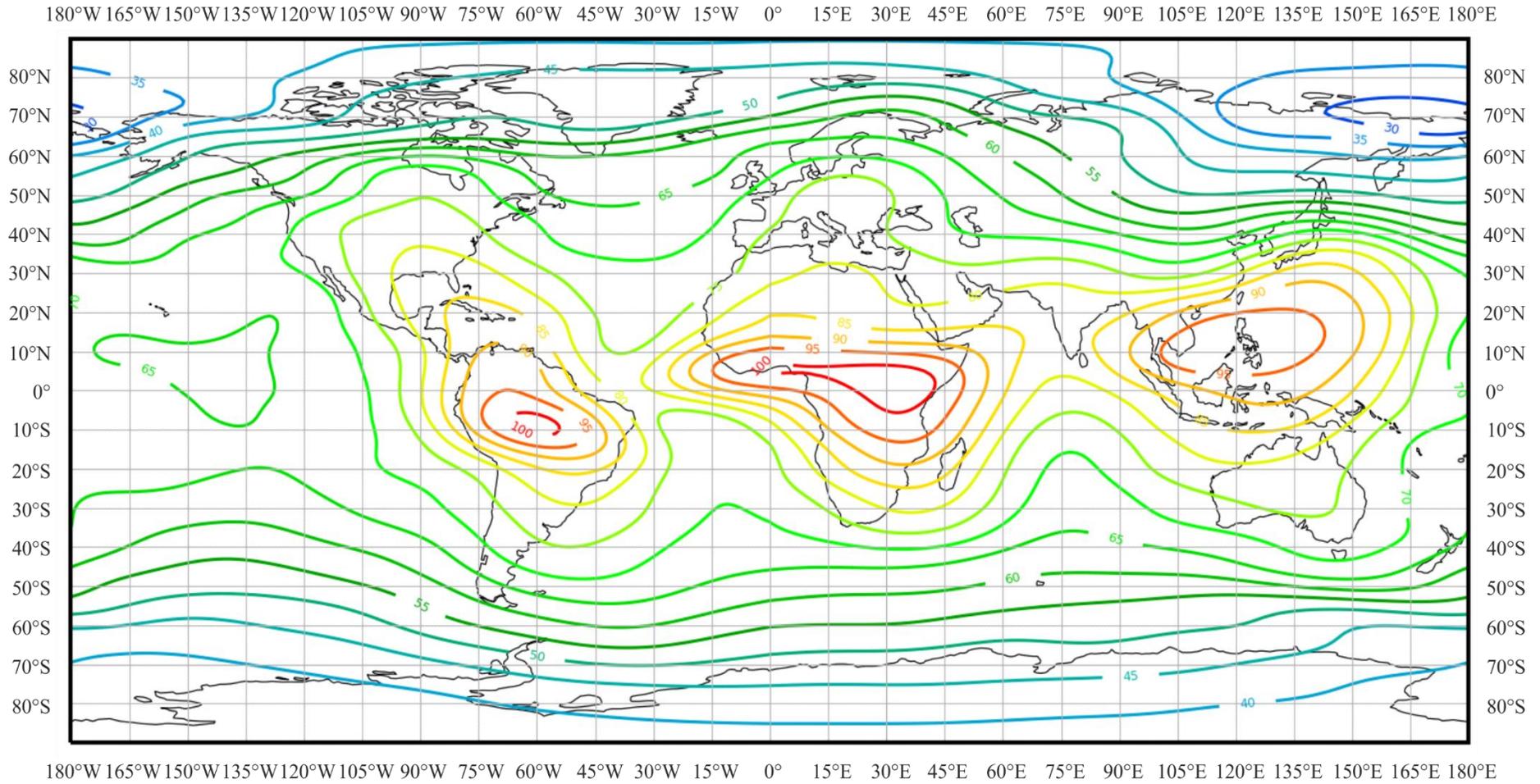


FIGURA 36b

Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 2000-2400 hora local)

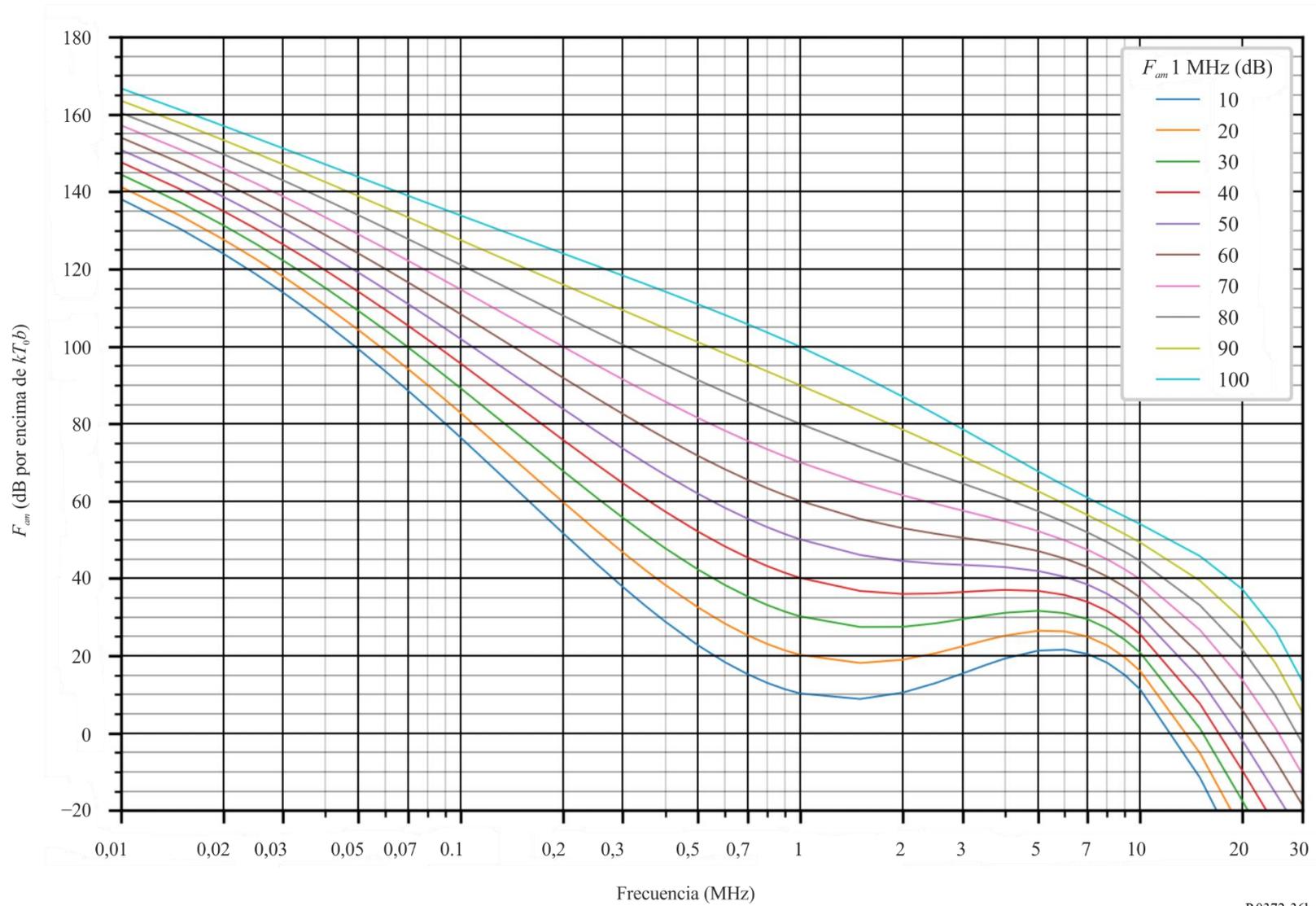


FIGURA 36c

Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
 (Hemisferio Norte: sep-oct-nov; hemisferio Sur: mar-abr-may; 2000-2400 hora local)

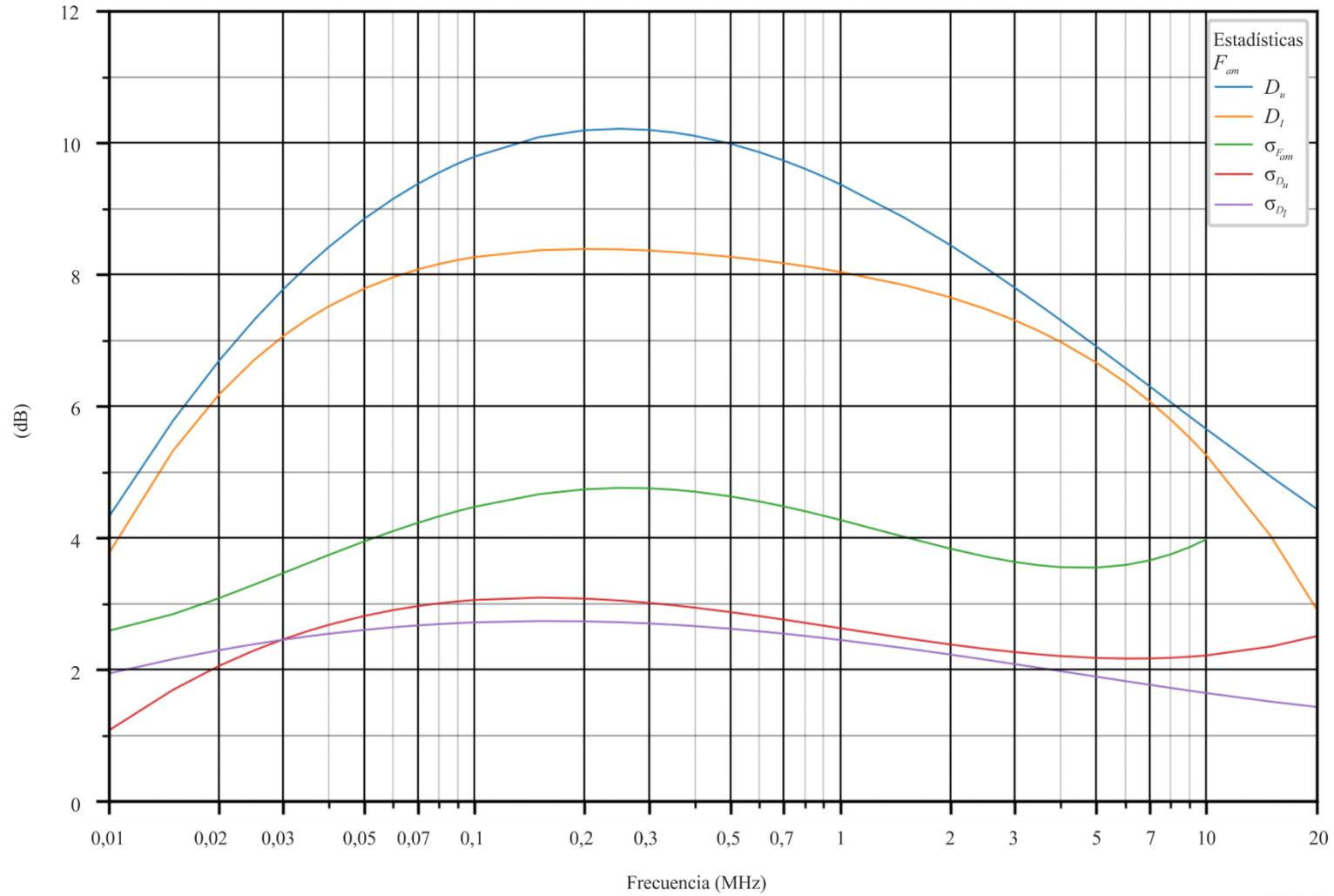


FIGURA 37
 Distribuciones de la probabilidad de amplitud del ruido radioeléctrico atmosférico
 para diversos valores de V_d

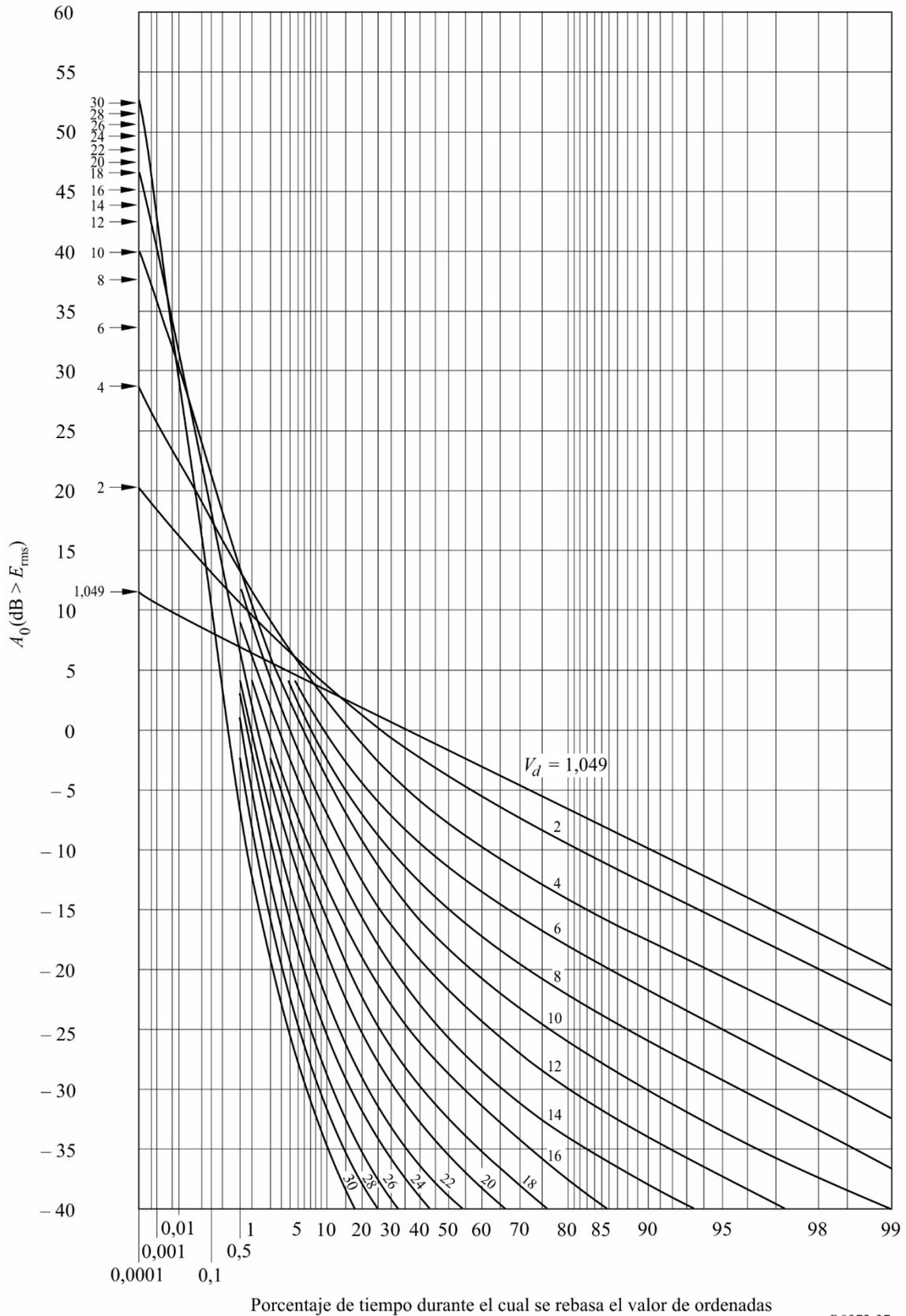
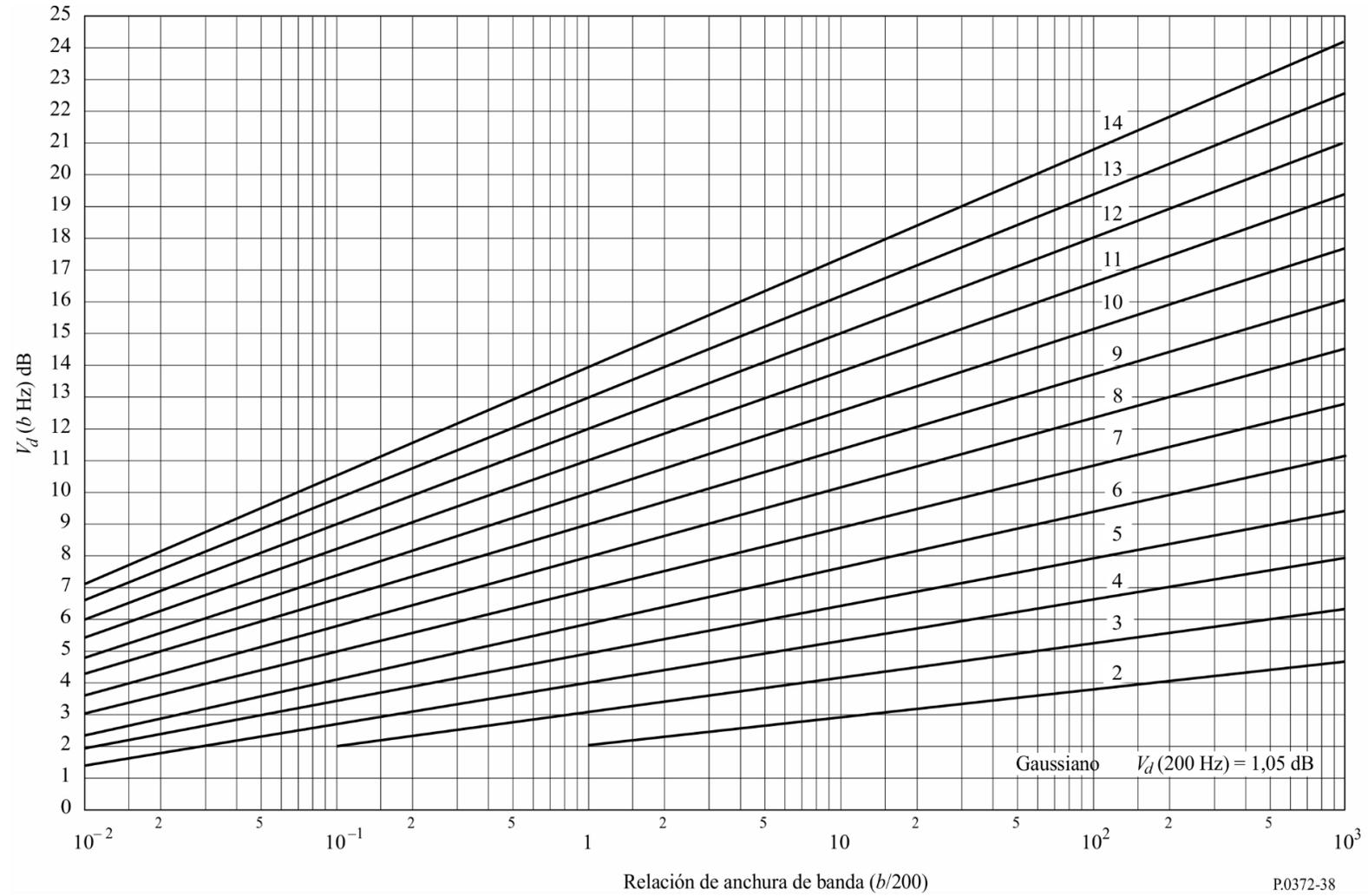


FIGURA 38
 Conversión de V_d para una anchura de banda de 200 Hz, V_{dm} ,
 en valores para otras anchuras de banda, b



PARTE 6

Ruido artificial

El ruido artificial puede pertenecer a una de las siguientes categorías:

- ruido de banda ancha cuya densidad espectral de potencia es más o menos plana en una amplia gama de frecuencias, con características que se aproximan al ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN);
- ruido impulsivo (IN);
- ruido que tiene un carácter dependiente de la frecuencia, consistente en una sola portadora, una "joroba" ruidosa en el espectro de frecuencias, o una combinación de múltiples portadoras y/o jorobas. A falta de un nombre mejor, este tipo de ruido se ha indicado tradicionalmente como «ruido de portadora única» (SCN).

El ruido artificial observado también puede consistir en una combinación de las tres categorías. El predominio de una categoría depende de la intensidad de las fuentes y de su distancia respecto del observador.

El ruido artificial AWGN puede observarse cuando se suma un gran número de fuentes individuales de intensidad comparable y a suficiente distancia del receptor. El ruido artificial SCN indica la presencia de una única fuente cercana, o de un número limitado de ellas. Mientras que lo primero es más probable en un escenario exterior, lo segundo es típico de un entorno de ruido interior.

Los métodos para la medición y la representación del ruido artificial figuran en la Recomendación UIT-R SM.1753 (en exteriores) y en la Recomendación UIT-R SM.2093 (en interiores).

6.1 Ruido artificial en el exterior**6.1.1 Ruido blanco gaussiano aditivo**

En la Fig. 39 se representan los valores medianos del factor de ruido artificial AWGN procedente de un cierto número de entornos exteriores típicos. La Figura incluye también una curva para el ruido galáctico (véase la Parte 4).

En todos los casos, los resultados son coherentes con una variación lineal del valor mediano, F_{am} , expresado en dB, con la frecuencia f de la siguiente forma:

$$F_{am} = c - d \log f \quad (17)$$

Expresándose f (MHz) y dando a c y d los valores indicados en el Cuadro 1. Obsérvese que la ecuación (17) es válida en la gama de 0,3 a 250 MHz para todas las categorías del entorno excepto las de las Curvas D y E como se indica en la Figura. El ruido artificial reflejado por la ionosfera (curva D) se observa por debajo de la frecuencia crítica de ondas extraordinarias de la ionosfera (f_xF2), que depende de la hora del día, la estación y el ciclo de manchas solares. Por encima de f_xF2 , la ionosfera se vuelve gradualmente transparente y el ruido galáctico se vuelve dominante (curva E). Aunque las ionosondas no registran f_xF2 , una aproximación a f_xF2 en condiciones ionosféricas estables es el índice de propagación F f_xI , que es la reflexión máxima de la región F registrada por una ionosonda durante una medición.

Para las zonas urbanas, residenciales y rurales, en el Cuadro 2 se da la media, en la gama de frecuencias antes mencionada, de las desviaciones de los decilos D_u y D_l , de la potencia de ruido según el tiempo. Dicho Cuadro contiene también valores de la desviación según el emplazamiento.

Cabe suponer que esas variaciones no están correlacionadas y que unas distribuciones log-normal a cada lado de la mediana son adecuadas.

CUADRO 1

Valores de las constantes c y d

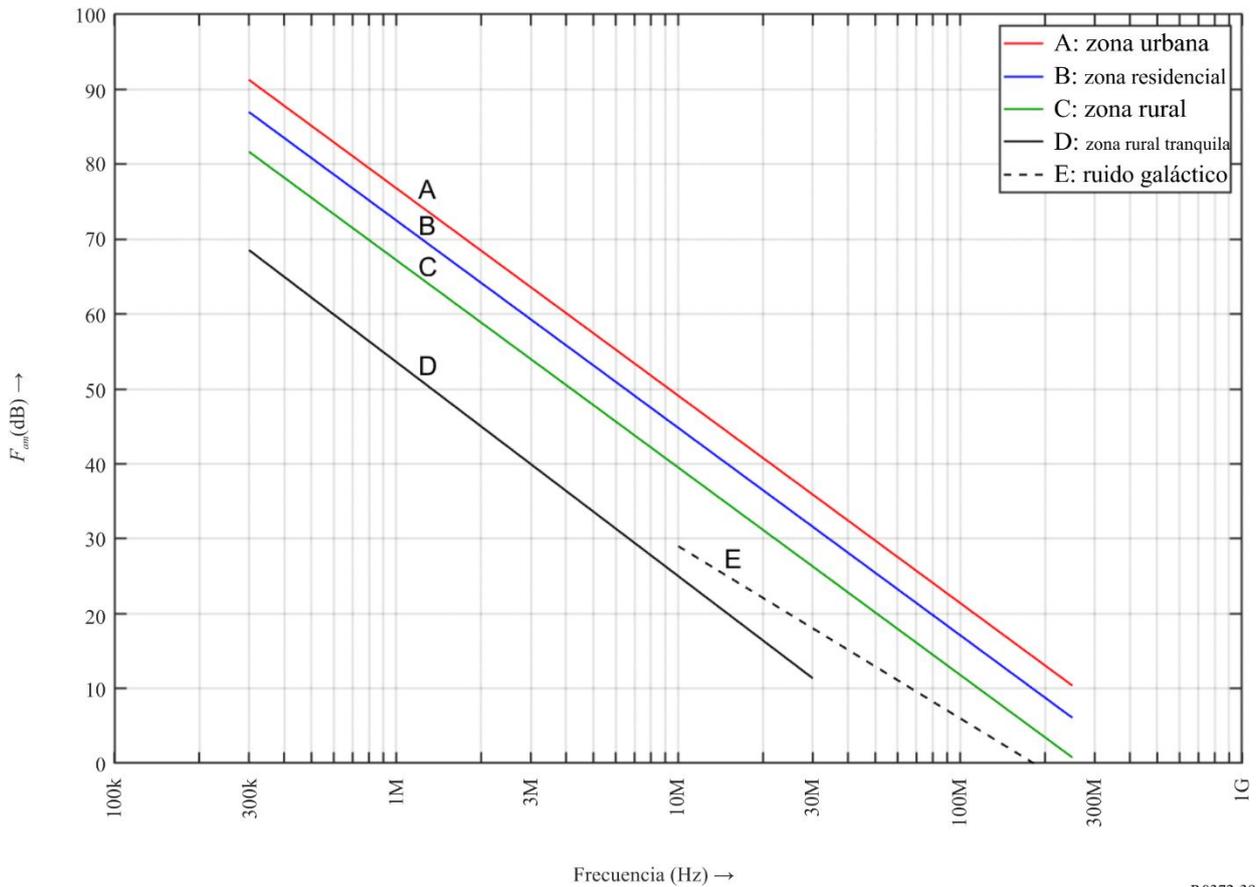
Categoría del entorno	c	d
Zona urbana (curva A)	76,8	27,7
Zona residencial (curva B)	72,5	27,7
Zona rural (curva C)	67,2	27,7
Zona rural tranquila (curva D)	53,6	28,6
Ruido galáctico (curva E)	52,0	23,0

CUADRO 2

Valores de las desviaciones de los decilos del ruido artificial

Categoría	Decilo	Variación con el tiempo (dB)	Variación con el emplazamiento (dB)
Zona urbana	Superior	11,0	8,4
	Inferior	6,7	8,4
Zona residencial	Superior	10,6	5,8
	Inferior	5,3	5,8
Zona rural	Superior	9,2	6,8
	Inferior	4,6	6,8

FIGURA 39
Valores medianos de la potencia de ruido artificial medidos con una antena monopolo vertical corta sin pérdidas y puesta a Tierra



P.0372-39

6.2 Ruido artificial en el interior

6.2.1 Ruido blanco gaussiano aditivo

En la actualidad, no se dispone de suficientes datos de medición para describir los niveles esperados de ruido artificial AWGN en interiores. Esta sección se actualizará cuando se disponga de tales datos. El Cuadro 3 contiene las mediciones realizadas en Europa entre 2005 y 2007.

CUADRO 3

Mediciones de ruido artificial en el interior en Europa

Frecuencia (MHz)	Factor de ruido mediano F_a (dB rel $k T_0 b$)		Desviación del decilo superior			Desviación del decilo inferior		
	Urbano	Residencial	Urbano	Residencial		Urbano	Residencial	
210	14	5	3	3		2	1	
425	16	3	4	1		1	1	

PARTE 7

Combinación de ruidos procedentes de varias fuentes

7.1 Combinación de ruidos procedentes de varias fuentes

En algunas ocasiones es preciso considerar más de un tipo de ruido, puesto que dos o más son de amplitud comparable. Esto puede suceder a cualquier frecuencia en general, pero ocurre más a menudo en ondas decamétricas donde los ruidos atmosférico, artificial y galáctico pueden ser comparables (por ejemplo, Fig. 2, 10 MHz).

Se da por supuesto que los factores de ruido para cada una de las fuentes de ruido definidas *supra* (valores F_a expresados en decibeles), tienen una distribución representada por dos distribuciones seminormales a cada lado del valor F_{am} mediano. La distribución seminormal más baja tiene una desviación típica $\sigma_l = D_l/1,282$ por debajo de la mediana y la distribución seminormal más alta, una desviación típica $\sigma_u = D_u/1,282$ por encima de la mediana. Los factores de ruido correspondientes (valores f_a expresados en vatios) tienen distribuciones log-normales a cada lado de la mediana.

La mediana, F_{amT} , y la desviación típica, σ_T , del factor de ruido para la suma de dos o más procesos de ruido vienen dados por:

$$F_{amT} = c \left[\ln(\alpha_T) - \frac{\sigma_T^2}{2c^2} \right] \quad \text{dB} \quad (18)$$

$$\sigma_T = c \sqrt{\ln \left(1 + \frac{\beta_T}{\alpha_T^2} \right)} \quad \text{dB} \quad (19)$$

donde:

$$c = 10/\ln(10) = 4,343 \quad (20)$$

$$\alpha_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{i=1}^n \exp \left[\frac{F_{ami}}{c} + \frac{\sigma_i^2}{2c^2} \right] \quad \text{W} \quad (21)$$

$$\beta_T = \sum_{i=1}^n \alpha_i^2 \left[\exp \left(\frac{\sigma_i^2}{c^2} \right) - 1 \right] \quad \text{W}^2 \quad (22)$$

y F_{ami} y σ_i son la mediana y la desviación típica de los factores de ruido de las fuentes componentes del ruido. Para el ruido atmosférico, se han obtenido de las Figs. 13 a 36; para el ruido artificial, también pueden extraerse de la Fig. 10 y del Cuadro 2. Para el ruido galáctico, F_{am} viene dado por la ecuación (15) y σ_i se fija a 1,56 dB (= 2/1,282).

La desviación del decilo superior, D_{uT} , del factor de ruido para la suma de dos o más procesos de ruido viene dada por:

$$D_{uT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (23)$$

donde σ_T se calcula utilizando las desviaciones del decilo superior de los componentes de ruido para calcular σ_i (= $D_u/1,282$) en las ecuaciones (21) y (22).

La desviación del decilo inferior, D_{IT} , del factor de ruido para la suma de dos o más procesos de ruido viene dada por:

$$D_{IT} = 1,282 \sigma_T \quad \text{dB} \quad (24)$$

donde σ_T se calcula utilizando las desviaciones del decilo inferior de los componentes de ruido para calcular $\sigma_i (= D_i/1,282)$ en las ecuaciones (21) y (22).

Cuando una desviación del decilo superior del factor de ruido para un componente de ruido, como mínimo, excede los 12 dB, la σ_T obtenida por las ecuaciones (19) a (22), utilizando las desviaciones del decilo superior de los componentes de ruido, debería limitarse a un valor máximo de:

$$\sigma_T = c \sqrt{2 \ln \left(\frac{\alpha_T}{\gamma_T} \right)} \quad \text{dB} \quad (25)$$

donde γ_T es el factor de ruido para la suma de potencia simple de cada factor de ruido mediano:

$$\gamma_T = \sum_{i=1}^n \exp \left(\frac{F_{ami}}{c} \right) \quad \text{W} \quad (26)$$

Del mismo modo, cuando una desviación del decilo inferior del factor de ruido para un componente de ruido, como mínimo, excede los 12 dB, la σ_T obtenida por las ecuaciones (19) a (22), utilizando las desviaciones del decilo inferior de los componentes de ruido, debería limitarse al valor máximo obtenido mediante la ecuación (25).
