

RECOMENDACIÓN UIT-R P.372-6

RUIDO RADIOELÉCTRICO*

(Cuestión UIT-R 214/3)

(1951-1953-1956-1959-1963-1974-1978-1982-1986-1990-1994)

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 la determinación y diseño de la calidad de funcionamiento del sistema;
- c) que generalmente no conviene utilizar sistemas de recepción con factores de ruido inferiores a los determinados por el ruido externo mínimo;
- d) 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,

recomienda

que se utilice la siguiente información, donde corresponda, en el diseño y análisis de sistemas de radiocomunicaciones:

1. Fuentes de ruido radioeléctrico

El ruido radioeléctrico externo a un sistema receptor de radiocomunicaciones está provocado por una de las siguientes causas:

- radiación procedente de descargas del rayo (ruido atmosférico debido al rayo);
- radiación no intencionada procedente de maquinaria eléctrica, equipos eléctricos y electrónicos, líneas de transmisión de energía o sistemas de encendido de motores de combustión interna (ruido artificial);
- emisiones procedentes de hidrometeoros y de gases atmosféricos;
- la superficie u otros obstáculos situados dentro del haz de antena;
- la radiación procedente de fuentes radioeléctricas celestes.

Cabe señalar que el ruido o las señales debidos a transmisiones cocanal no deseadas o a emisiones no esenciales de sistemas de recepción o transmisión individuales no se consideran en esta Recomendación.

2. Términos para la especificación de intensidad de ruido y su interrelación

El factor de ruido, f , de un sistema receptor se compone de un número de fuentes de ruido en el terminal receptor del sistema. Deben considerarse tanto el ruido interno como el externo. El único punto de referencia adecuado para el factor global de ruido de funcionamiento de un sistema de recepción de radiocomunicaciones es la entrada de una

* La Oficina de Radiocomunicaciones dispone de un programa de computador asociado con las características y aplicaciones del ruido atmosférico debido al rayo, del ruido artificial y del ruido galáctico (en frecuencias por debajo de unos 100 MHz) descritas en esta Recomendación. Para mayores detalles véase la Resolución UIT-R 63.

antena receptora equivalente sin pérdidas. (Los terminales de esta antena sin pérdidas no existen físicamente.) 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 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.

Si $t_c = t_t = t_0$

donde:

t_t : temperatura real (K) de la línea de transmisión,

(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 $-204 = 10 \log k t_0$.

En el caso de un monopolo vertical corto ($h \ll \lambda$) sobre un suelo perfectamente plano, 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 un dipolo de media onda en el espacio libre:

$$E_n = F_a + 20 \log f_{\text{MHz}} + B - 99,0 \quad \text{dB}(\mu\text{V/m}) \quad (8)$$

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.

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

La potencia de ruido indicada anteriormente, 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. En este caso, las descripciones pueden referirse al valor de cresta en un intervalo de tiempo determinado, a las probabilidades de rebasamiento en estos niveles elevados, o al cómputo de impulsos a un nivel especificado, etc.

3. Niveles de ruido en función de la frecuencia

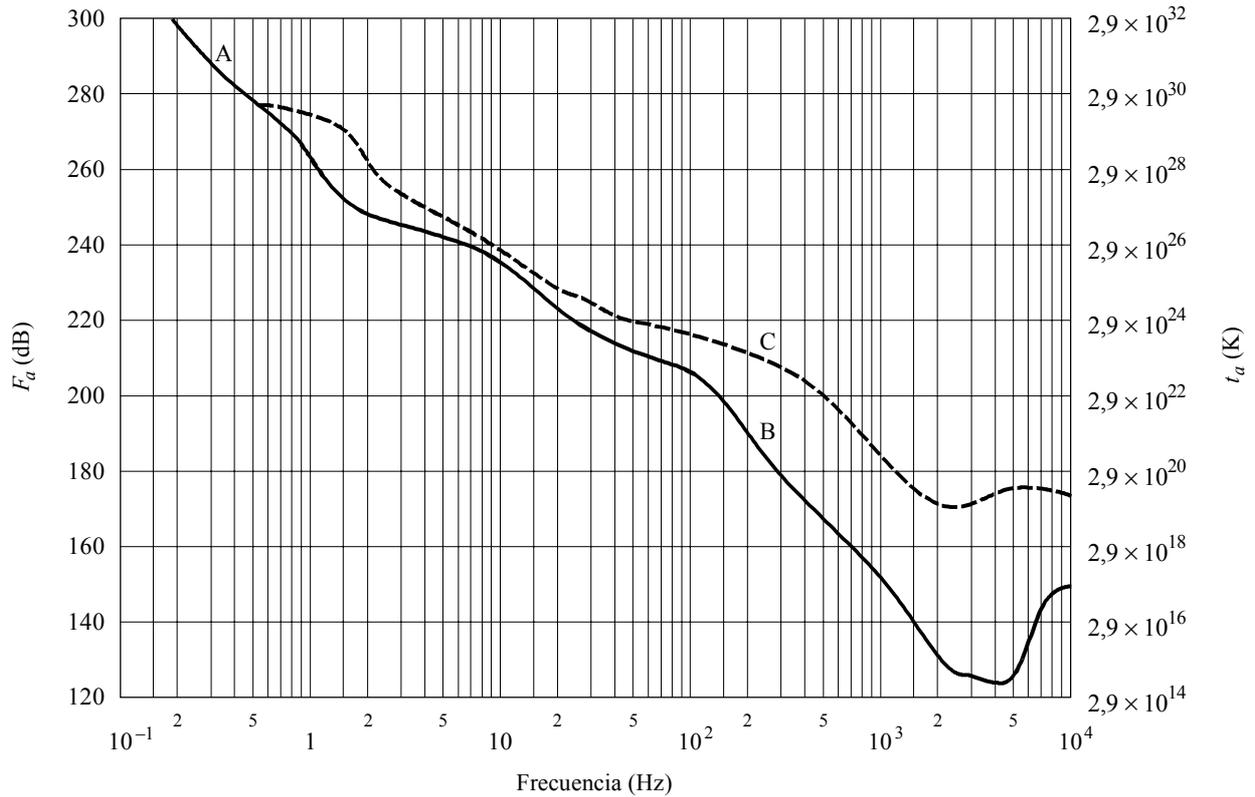
Las figs. 1 a 3 y el análisis correspondiente especifican los valores esperados de F_a en la gama de frecuencias de 0,1 Hz a 100 GHz, así como otros niveles de ruido de interés. Las tres figuras muestran la magnitud relativa de los tipos de ruido especificados en el § 1. En otros puntos de esta Recomendación 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 guíaondas Tierra-ionósfera.

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, se adoptan como valores mínimos previstos los excedidos durante el 99,5% del tiempo y como valores máximos los excedidos durante el 0,5% del tiempo. Para las curvas del ruido atmosférico, se han tenido en cuenta 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 algunos otros ruidos de interés se indican por curvas discontinuas.

FIGURA 1

 F_a máximo y mínimo en función de la frecuencia (0,1 a 10^4 Hz)

A: Microimpulsos
 B: Valor mínimo previsto del ruido atmosférico
 C: Valor máximo previsto del ruido atmosférico

0372-01

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.

4. 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.

En las comunicaciones Tierra-espacio, si se conoce la atenuación de la señal procedente del transmisor del vehículo espacial, puede obtenerse una buena estimación de la temperatura de brillo para frecuencias comprendidas entre 2 y 30 GHz en esa dirección aplicando la siguiente fórmula:

$$t_b = t_e (1 - e^{-d}) + 2,7 \quad \text{K} \quad (10)$$

donde:

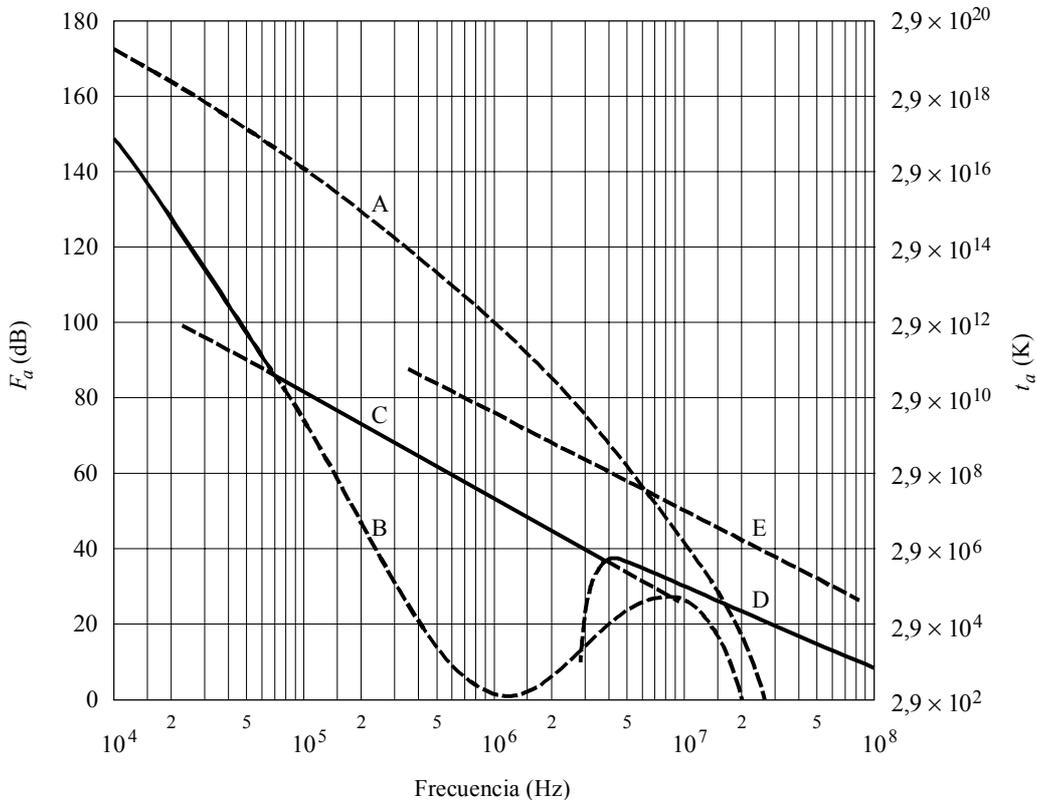
d : profundidad óptica = atenuación en dB/4,343

t_e : temperatura efectiva, normalmente unos 275 K.

Esta relación proporciona resultados con una precisión de, aproximadamente, 0,1 dB por debajo de 30 GHz. Por encima de dicha frecuencia, la dispersión interviene en la atenuación y la estimación de la temperatura sería demasiado alta. Puede utilizarse esta relación para incluir la atenuación debida a la lluvia.

FIGURA 2

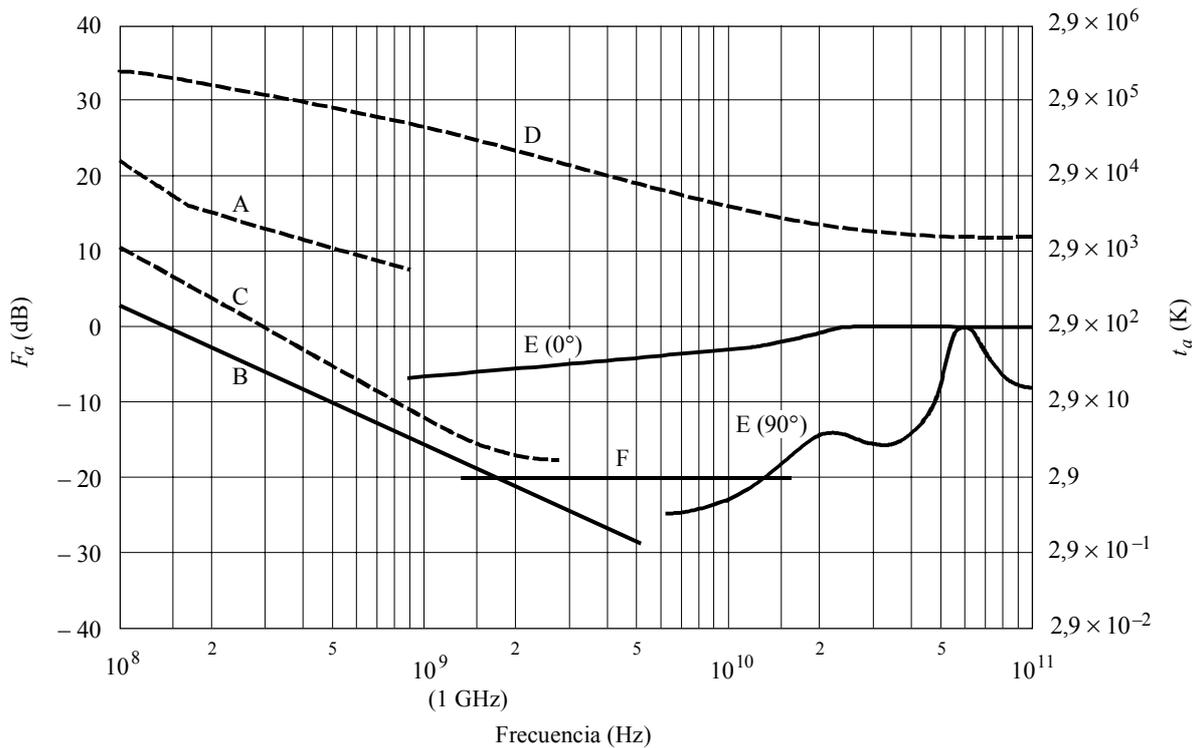
F_a en función de la frecuencia (10^4 a 10^8 Hz)



- A: Ruido atmosférico, valor excedido durante el 0,5% del tiempo
- B: Ruido atmosférico, valor excedido durante el 99,5% del tiempo
- C: Ruido artificial, punto de recepción tranquilo
- D: Ruido galáctico
- E: Ruido artificial mediano en una zona comercial
- Nivel de ruido mínimo previsto

En Estados Unidos de América se ha llevado a cabo un estudio de transferencia de radiación que comprende los efectos de las nubes. Se ha calculado la temperatura de brillo hacia el cenit a partir de los datos meteorológicos de un año típico seleccionado en una base de datos de 15 años para cada una de 15 ubicaciones. En las figs. 6a) y 6b) se representan los resultados para dos ubicaciones de Estados Unidos de América, Yuma, Arizona (5,5 cm de intensidad anual de lluvia) y Nueva York (98,5 cm de intensidad anual de lluvia) y para cinco frecuencias distintas. En estas curvas puede observarse que la temperatura de ruido hacia el cenit a 90 GHz puede ser menor que para 44 GHz. Esto es así para temperaturas de brillo hacia el cenit muy bajas, lo que significa que el contenido de vapor de agua es muy pequeño (inferior a unos 3 g/m^3). Sin embargo, en la fig. 4 ($7,5 \text{ g/m}^2$ de vapor de agua) puede verse que las temperaturas de brillo para 90 GHz y 44 GHz son casi las mismas.

FIGURA 3

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

- A: Ruido artificial mediano en una zona comercial
 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

0372-03

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

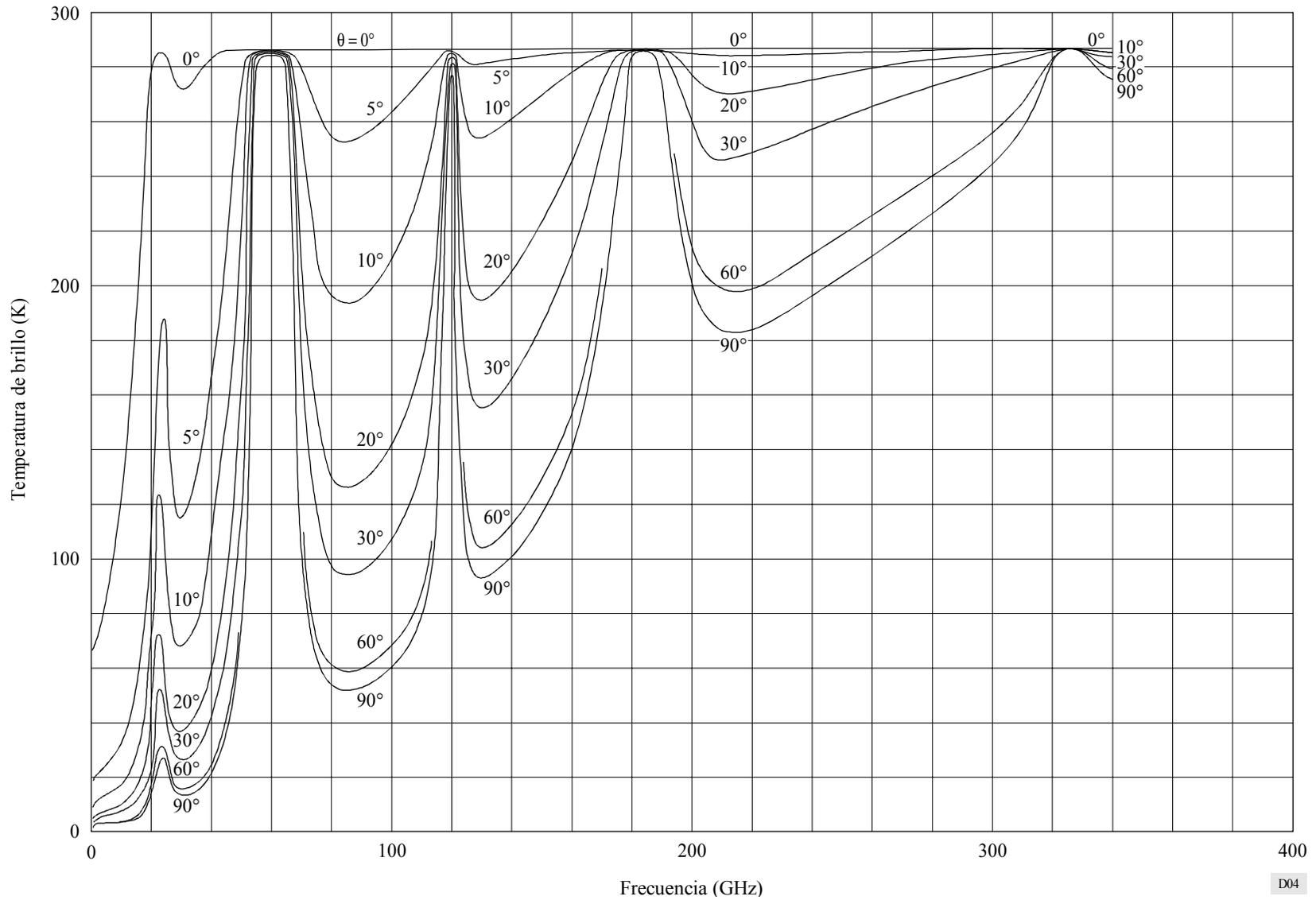


FIGURA 5

Temperatura de brillo (atmósfera despejada) para una concentración de vapor de agua de $7,5 \text{ g/m}^3$
(ampliación de la escala de abscisas de la fig. 4); θ representa el ángulo de elevación

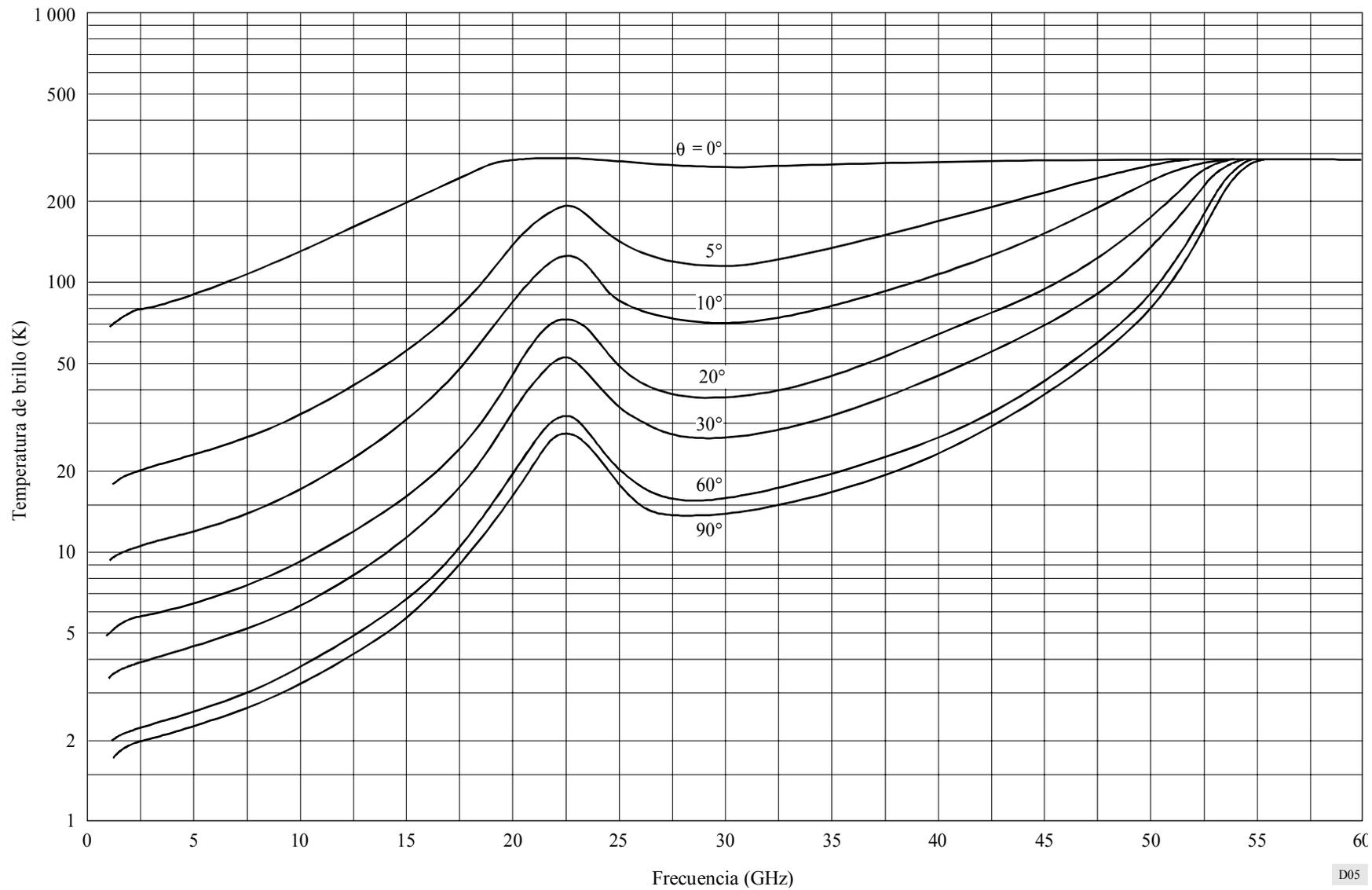
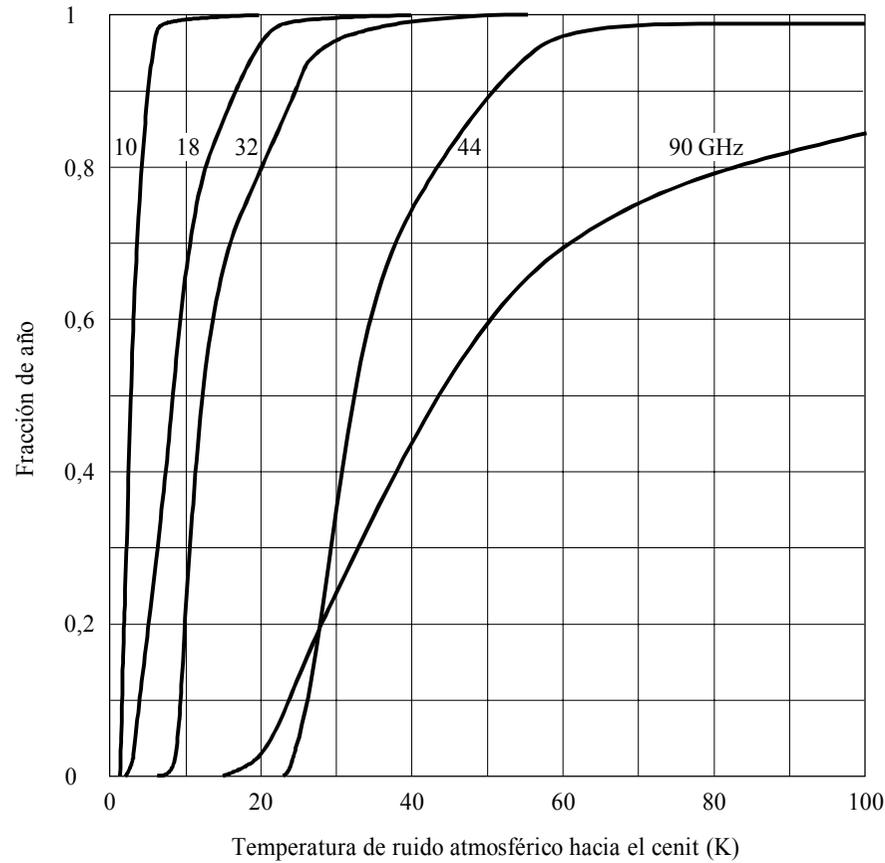
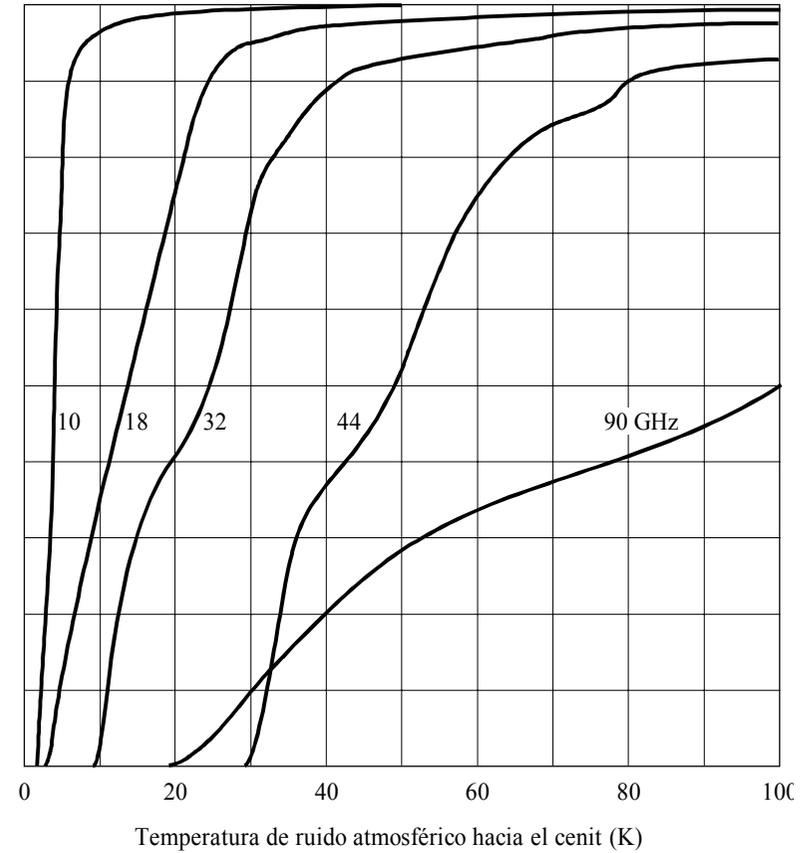


FIGURA 6

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



a) Yuma, Arizona, Estados Unidos de América (1961; precipitación total: 55 mm)



b) Nueva York, NY, Estados Unidos de América (1959; precipitación total: 985 mm)

D06

La temperatura de brillo de la superficie de la Tierra considerada desde un ángulo de nadir particular puede calcularse utilizando la ecuación de transferencia radiativa 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:

$$T = \epsilon T_{sup} + \rho T_{atm}$$

siendo:

ϵ : la emisividad efectiva de la superficie

ρ : el coeficiente de reflexión efectivo

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

T_{atm} : la 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 $2,5 \text{ g/m}^3$ de vapor de agua y una nubosidad del 50%. El diagrama de antena para cobertura de la Tierra viene dado por $G(\varphi) = -3(\varphi/8,715)^2 \text{ dB}$ para $0 \leq \varphi \leq 8,715$, siendo φ el ángulo con respecto al eje de puntería.

5. Ruido artificial

En la fig. 10 se representan los valores medianos de la potencia de ruido artificial procedente de un cierto número de entornos. La figura incluye también una curva para el ruido galáctico, véase el § 6.

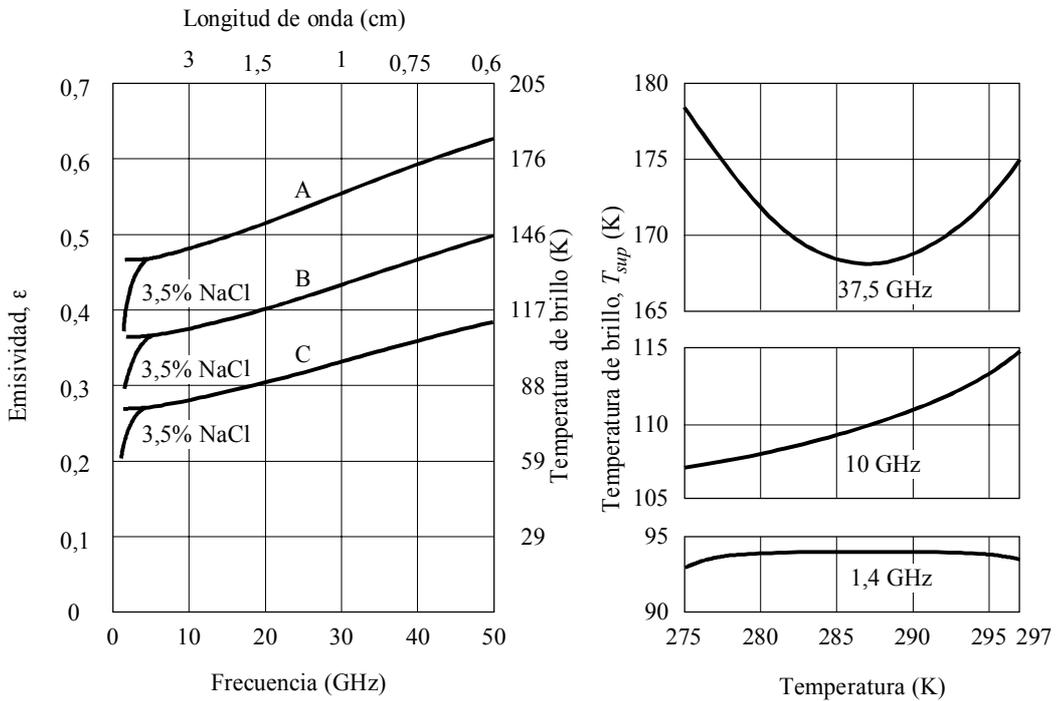
En todos los casos, los resultados son coherentes con una variación lineal del valor mediano, F_{am} , con la frecuencia f de la siguiente forma:

$$F_{am} = c - d \log f \quad (11)$$

Expresándose f (MHz) y dando a c y d los valores indicados en el cuadro 1. Obsérvese que la ecuación (11) 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.

FIGURA 7

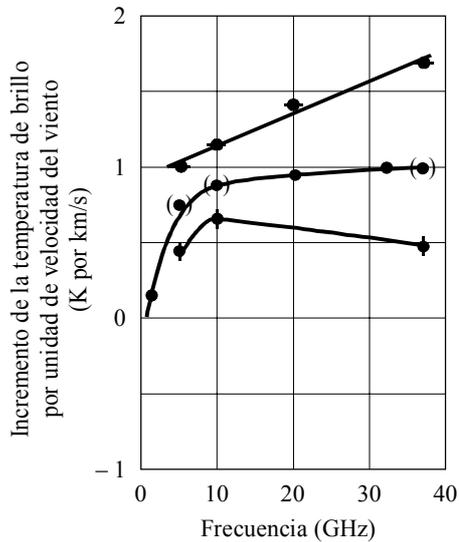
Variaciones de la emisividad y de la temperatura de brillo de la superficie del mar



a) Emisividad de una superficie de agua lisa

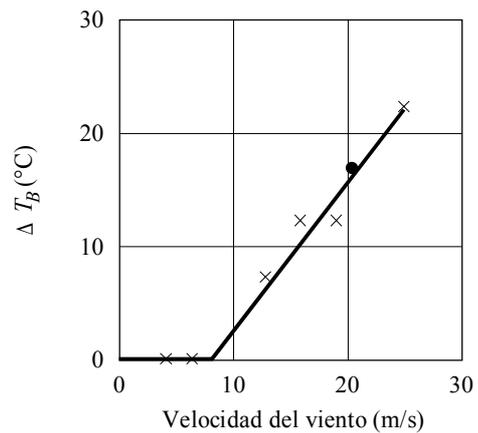
- A: Polarización vertical
- B: Ángulos de incidencia de 0° y 45°
- C: Polarización horizontal

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

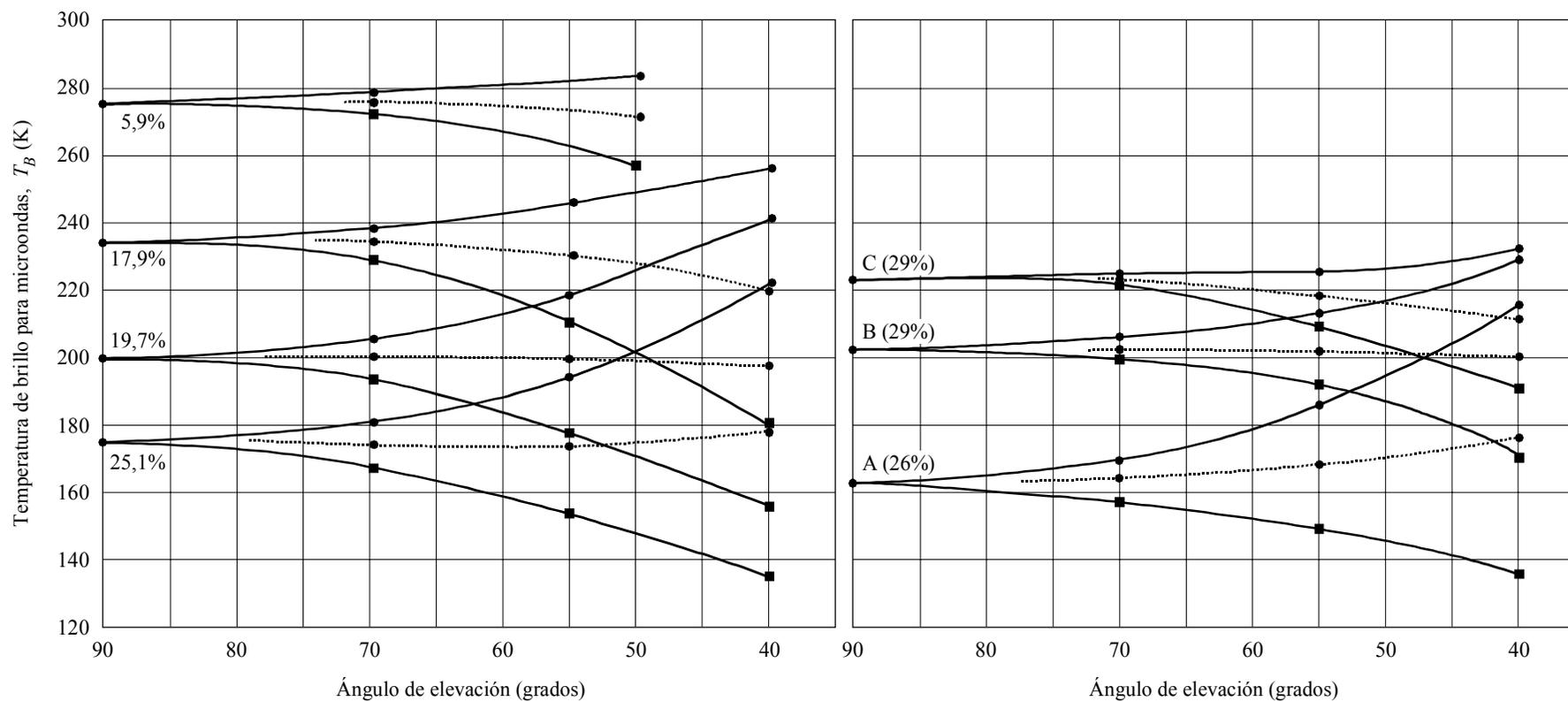


d) Incremento de la temperatura de brillo de la superficie del océano a 19,35 GHz debido a la velocidad del viento

- × 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, $1/2 (T_{BV} + T_{BH})$

0372-08

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 a 51 GHz

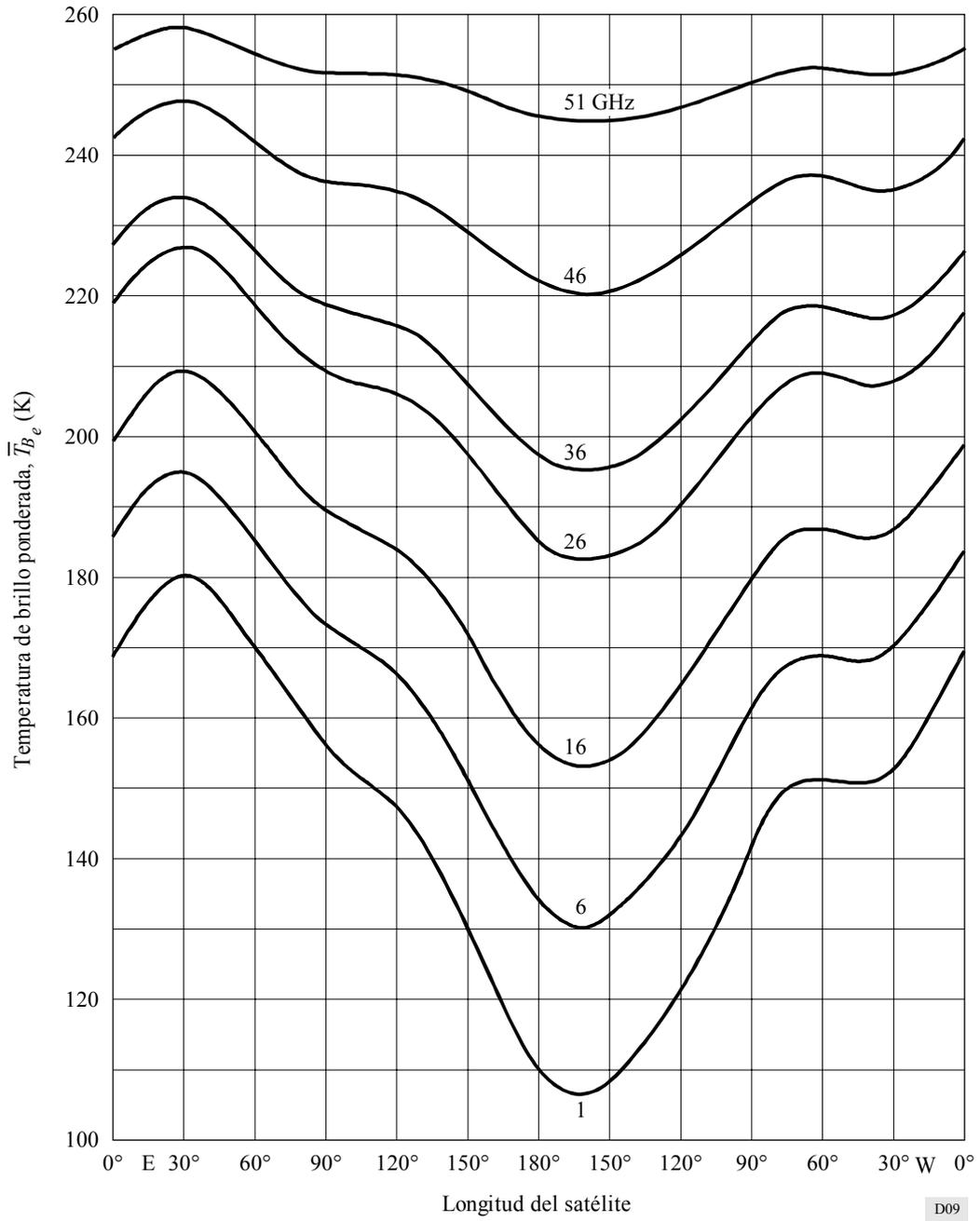
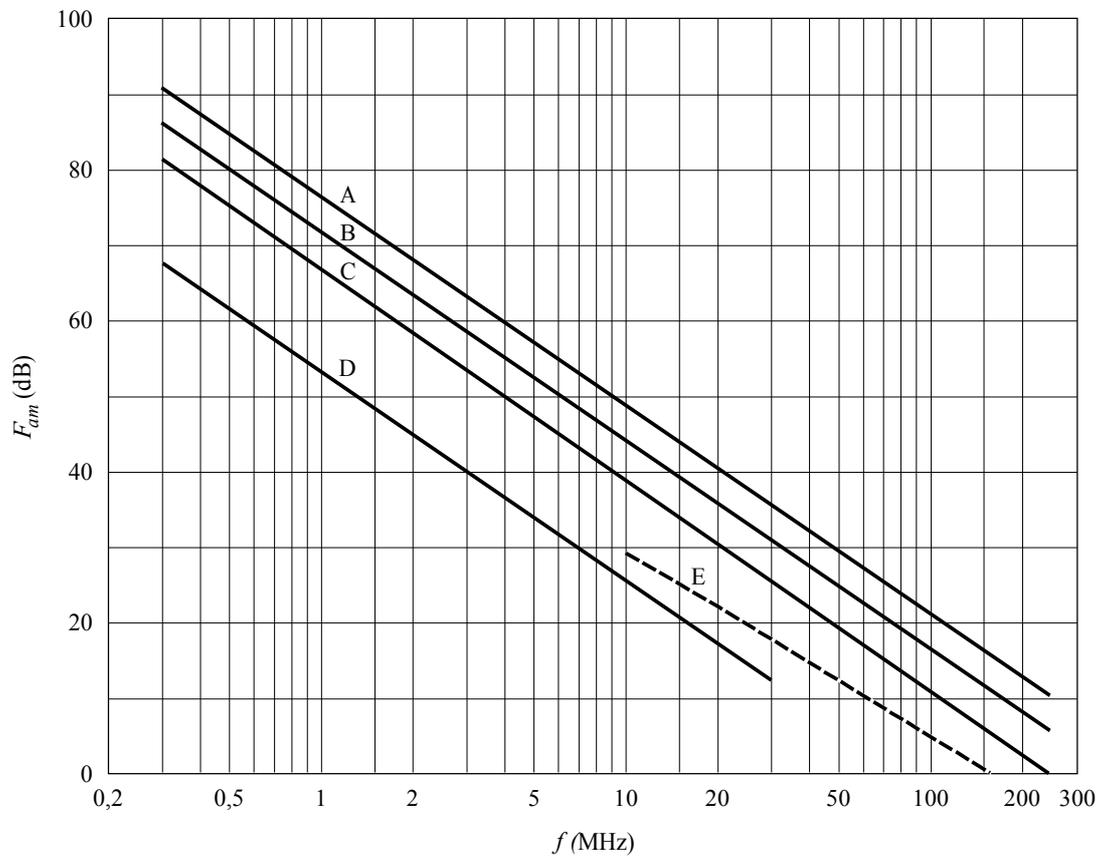


FIGURA 10

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



Categoría del entorno:

- Curvas A: Zona comercial
 B: Zona residencial
 C: Zona rural
 D: Zona rural tranquila (aldeas)
 E: Ruido galáctico (véase el § 6)

D10

CUADRO 1

Valores de las constantes c y d

Categoría del entorno	c	d
Zona comercial (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

Para las zonas comerciales, 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 emplazamiento. Para otros porcentajes de ubicaciones pueden obtenerse los valores de la desviación suponiendo una semidistribución log-normal a cada lado de la mediana.

CUADRO 2

Valores de las desviaciones de los decilos del ruido artificial

Categoría	Decilo	Valor (dB)
Zona comercial	Superior	10,7
	Inferior	6,7
Zona residencial	Superior	10,4
	Inferior	5,4
Zona rural	Superior	10,0
	Inferior	4,9

El análisis de los datos medidos disponibles para las zonas comerciales (la única zona de la que se disponen datos) en la gama de frecuencias 200-900 MHz muestra también una variación lineal con el logaritmo de la frecuencia, pero con una pendiente más gradual con f (MHz), el resultado es:

$$F_{am} = 44,3 - 12,3 \log f \quad \text{para } 200 \text{ MHz} < f < 900 \text{ MHz} \quad (12)$$

No hay suficientes datos disponibles para hacer una estimación razonable de las variaciones de F_a con respecto a F_{am} (por ejemplo, D_u y D_l).

En ondas métricas, un componente significativo del ruido artificial es producido por los impulsos de ignición de los vehículos de motor. Esta contribución de ruido puede presentarse como una distribución de amplitud de ruido impulsivo (la amplitud del espectro de ruido impulsivo es función de la frecuencia de los impulsos). La fig. 11 muestra un ejemplo de la distribución de amplitud de ruido en 150 MHz para tres categorías de densidad de vehículos de motor. La distribución de la amplitud de ruido impulsivo a otras frecuencias se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$A = C + 10 \log V - 28 \log f \quad \text{dB}(\mu\text{V}/\text{MHz}) \quad (13)$$

donde:

$$C = 106 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{MHz})$$

V : densidad de tráfico (vehículos/km²)

f : frecuencia (MHz).

6. 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:

$$F_{am} = 52 - 23 \log f \quad (14)$$

donde:

f : frecuencia (MHz).

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. 12 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. 13a, 13b, 13c y 13d 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 (K) por encima de 2,7 K. La precisión es de 1 K. Los intervalos de los contornos son:

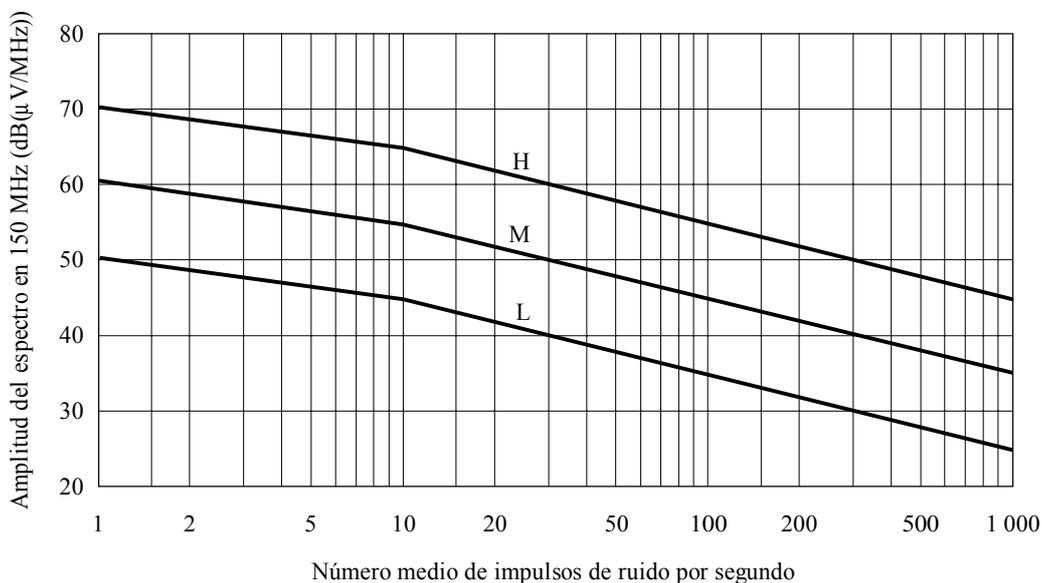
- 2 K por debajo de 60 K
- 4 K desde 60 K a 100 K
- 10 K desde 100 K a 200 K
- 20 K por encima de 200 K.

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. 13a y 13d 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.

FIGURA 11

Distribución de amplitud del ruido en una estación de base (150 MHz)



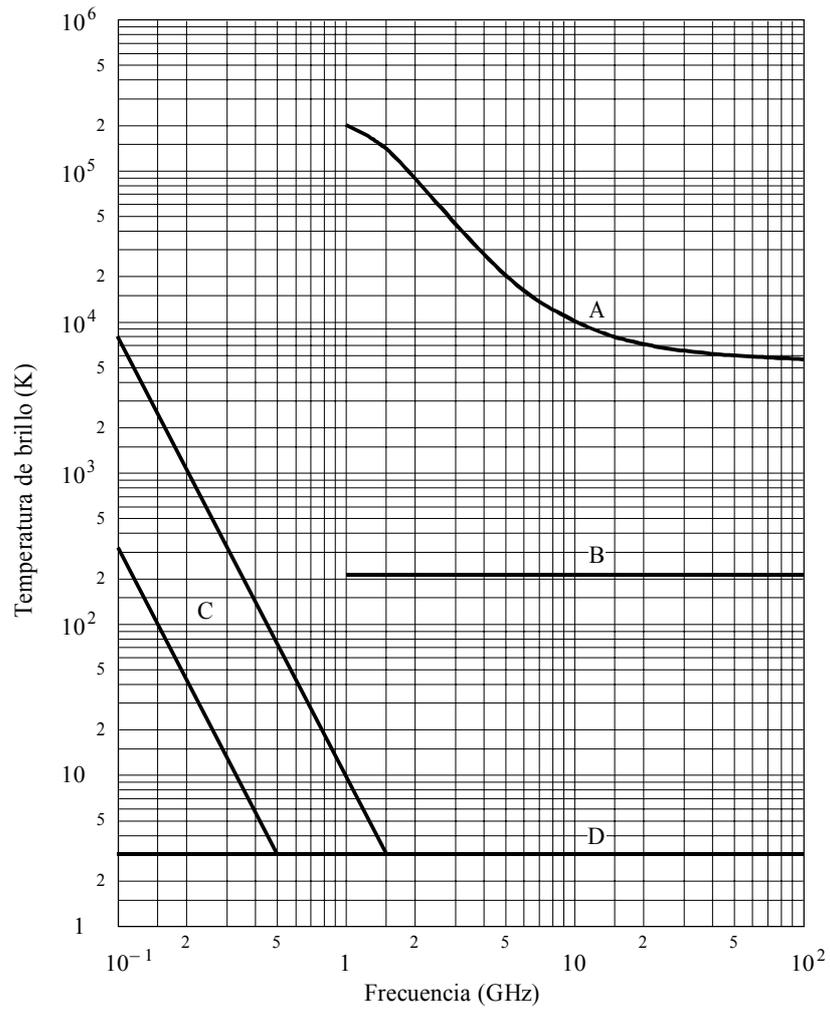
Para frecuencias distintas de 150 MHz, aumentense o disminúyanse las curvas H, M y L, de conformidad con la fórmula que figura a continuación:

$$A = C + 10 \log V - 28 \log f$$

donde $A = \text{dB}(\mu\text{V}/\text{MHz})$ en caso de 10 impulsos por segundo.

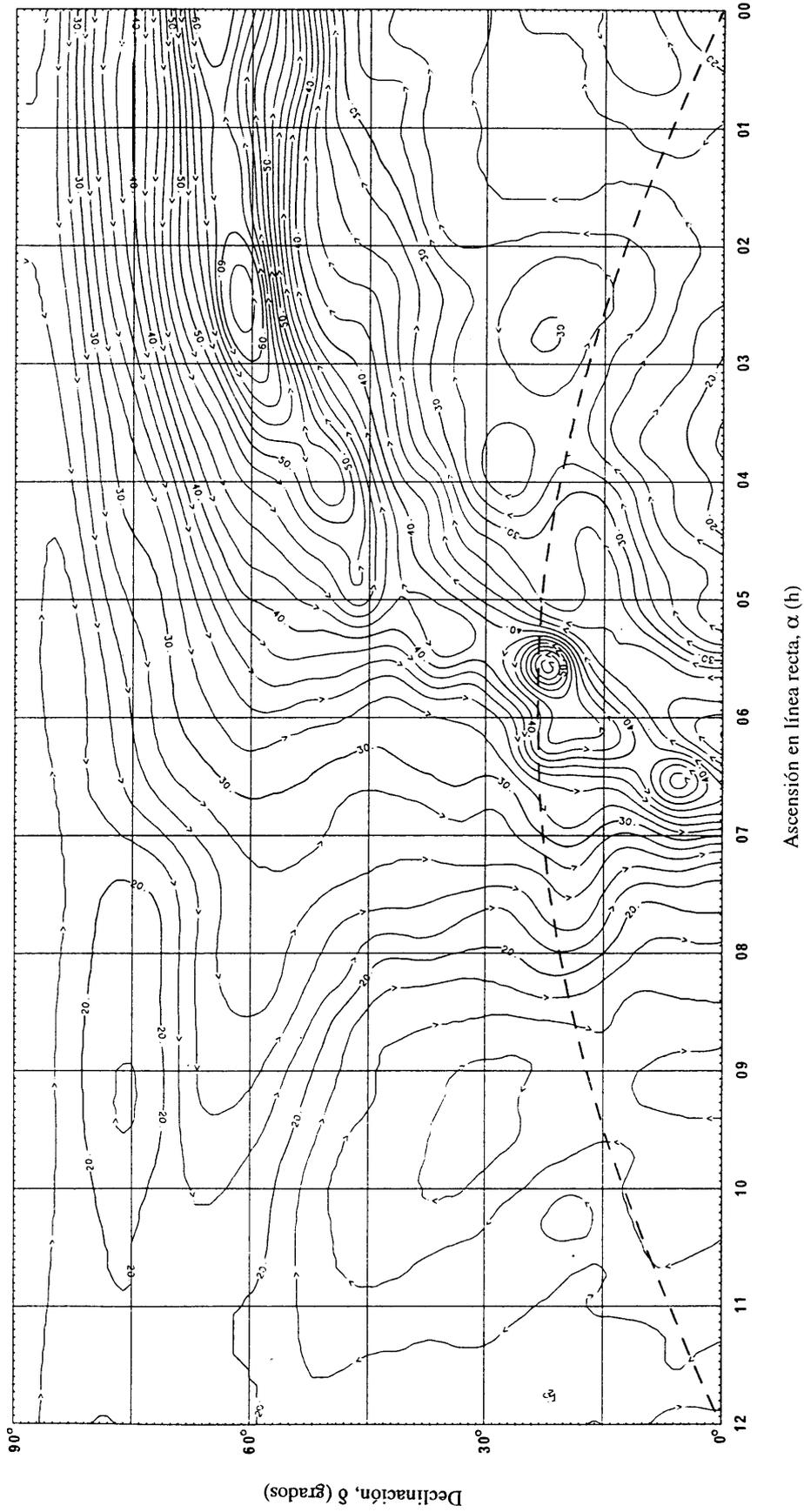
Curvas H: Lugar con alto nivel de ruido ($V = 100$)
 M: Lugar con nivel medio de ruido ($V = 10$)
 L: Lugar con nivel bajo de ruido ($V = 1$)

FIGURA 12
Fuentes de ruido extraterrestre



- A: Sol en reposo } Diámetro ~ 0,5°
- B: Luna } Diámetro ~ 0,5°
- C: Gama de ruido galáctico
- D: Ruido de fondo cósmico

FIGURA 13a
Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz

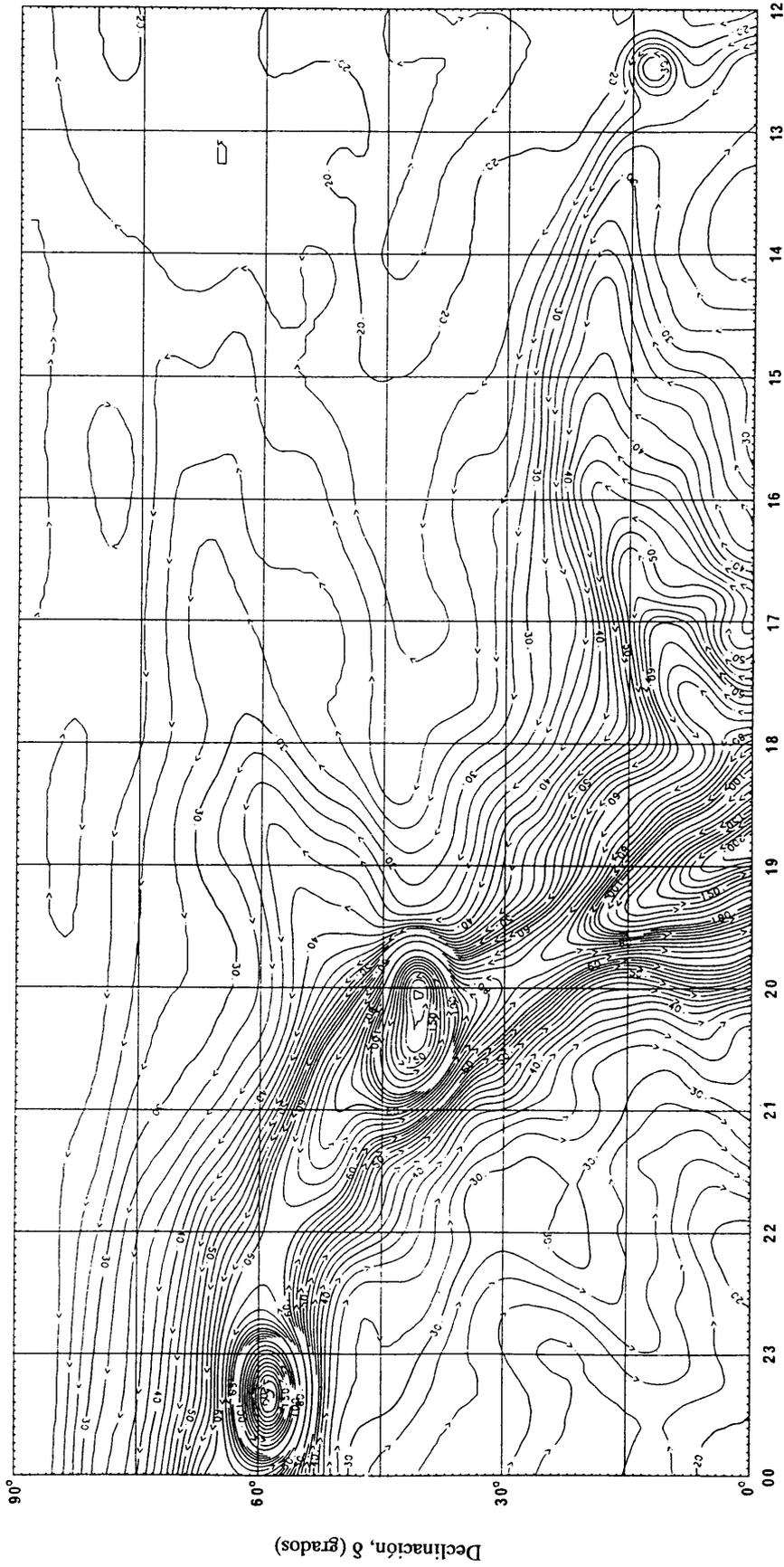


Ascensión en línea recta, α (h)

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

D13-sc

FIGURA 13c
Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz

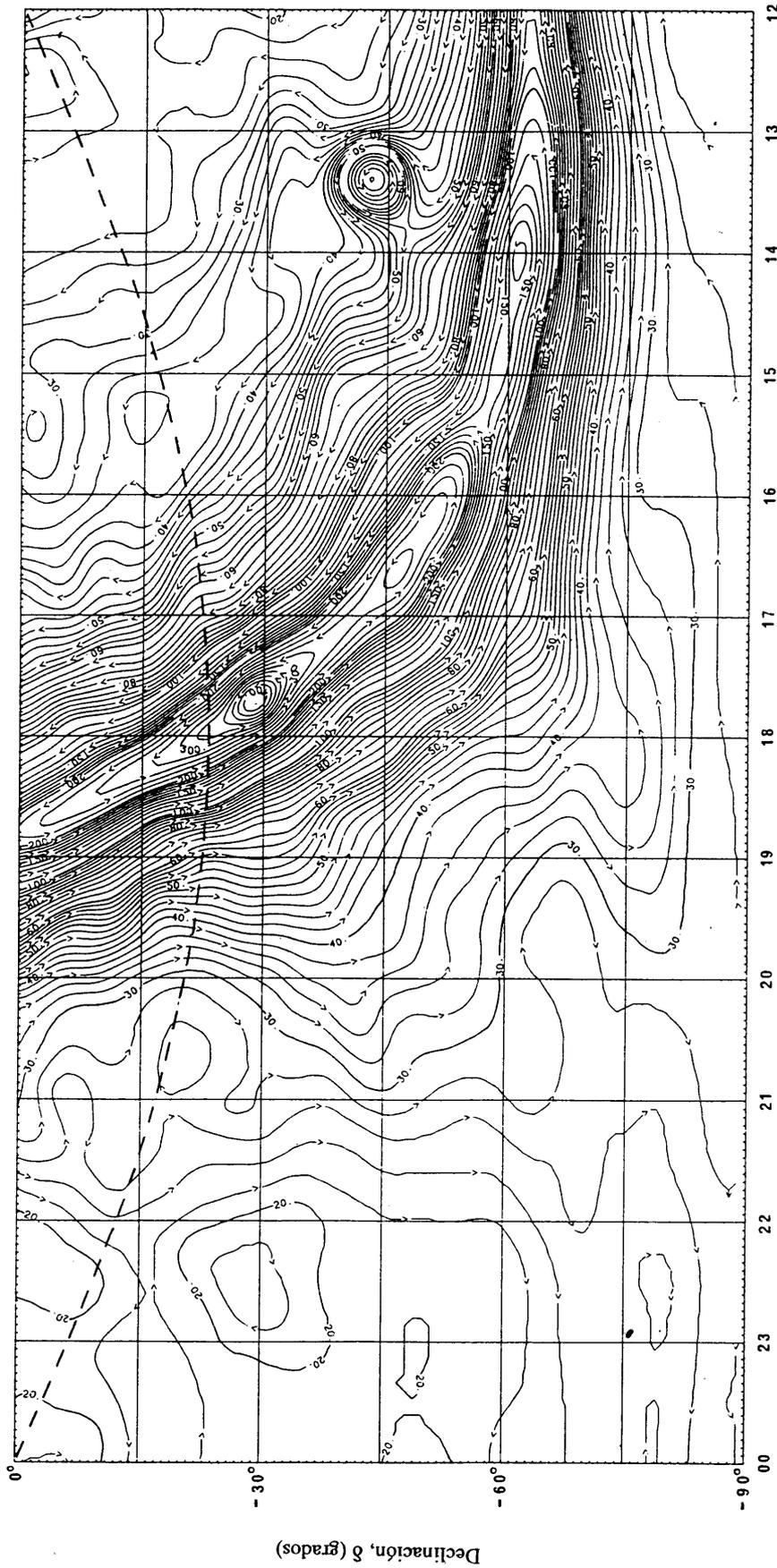


Ascensión en línea recta, α (h)

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

D15-8c

FIGURA 13d
Temperatura del cielo radioeléctrico a 408 MHz



Ascensión en línea recta, α (h)

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

D16-sc

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:

$$t_b (f_i) = t_b (f_0) (f_i / f_0)^{-2,75} + 2,7 \quad \text{K} \quad (15)$$

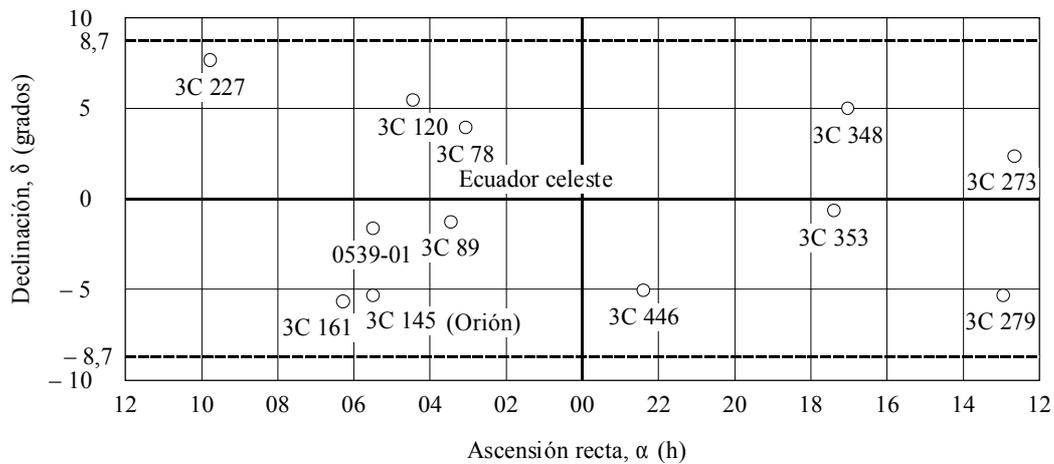
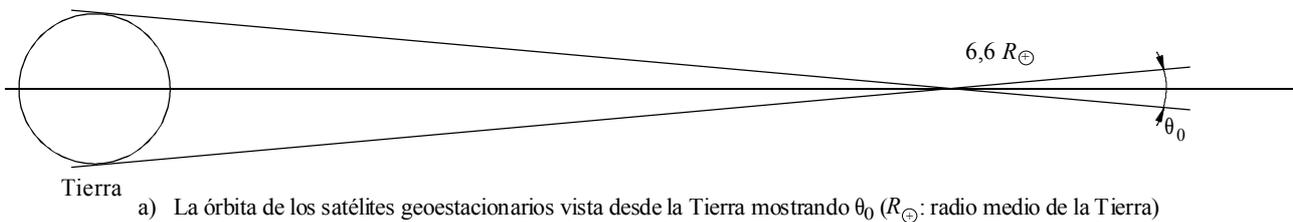
Así, para $t_b = 200$ K, $f_0 = 408$ MHz y $f_i = 1$ GHz; esta extrapolación daría:

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

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. 14a). La fig. 14b) muestra la gama correspondiente de declinaciones ($\pm 8,7^\circ$) e indica las fuentes más intensas.

FIGURA 14
Parte del cielo que interesa para las telecomunicaciones con satélites geoestacionarios



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

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 las figs. 13). La Luna se observa con $\pm 5^\circ$ de declinación con respecto al plano de la eclíptica.

7. Ruido atmosférico debido al rayo

En las figs. 15a) a 38a) se reproducen mapas mundiales con los valores medianos probables del ruido radioeléctrico atmosférico de fondo, F_{am} , en dB por encima de kT_0b , a 1 MHz para cada estación y bloques de tiempo de 4 horas (hora local). La única variación geográfica dada es para F_{am} a 1 MHz. En las figs. 15b) a 38b) se representa la variación de F_{am} con la frecuencia para cada estación y bloque de tiempo y en las figs. 15c) a 38c) 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 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.

En la fig. 39 pueden verse las curvas de la DPA 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_{V_d} . Estas curvas pueden utilizarse para una amplia gama de anchuras de banda. Las estimaciones dadas de V_d (figs. 15c) a 38c)) corresponden a una anchura de banda de 200 Hz y a partir de la fig. 40 puede convertirse este valor de V_d a 200 Hz en los correspondientes valores de V_d para otras anchuras de banda. La fig. 40 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. 15a) a 38a)) 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. 15b) a 38b)). 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. 15c) a 38c)). 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.

8. 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 intensidad 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). Los valores dados son los valores medianos de F_a , F_{am} . Los valores de f_a presentan distribuciones alrededor de la f_a mediana. Como se ha indicado anteriormente esas distribuciones son log-normales a cada lado de la mediana. Se ha desarrollado un método adecuado para obtener el valor mediano y la distribución de la suma de dos o más procesos de ruido, en el que se supone que el ruido resultante presentará también distribuciones log-normales. En este método, la potencia de ruido mediana resultante viene expresada por la suma de las potencias de ruido medianas de los procesos de ruido individuales. La desviación típica del ruido resultante se obtiene sumando las potencias de ruido que determinan una desviación típica por encima de la potencia mediana para cada uno de los procesos de ruido que intervienen, y sustrayendo a continuación del resultado la potencia de ruido mediana resultante.

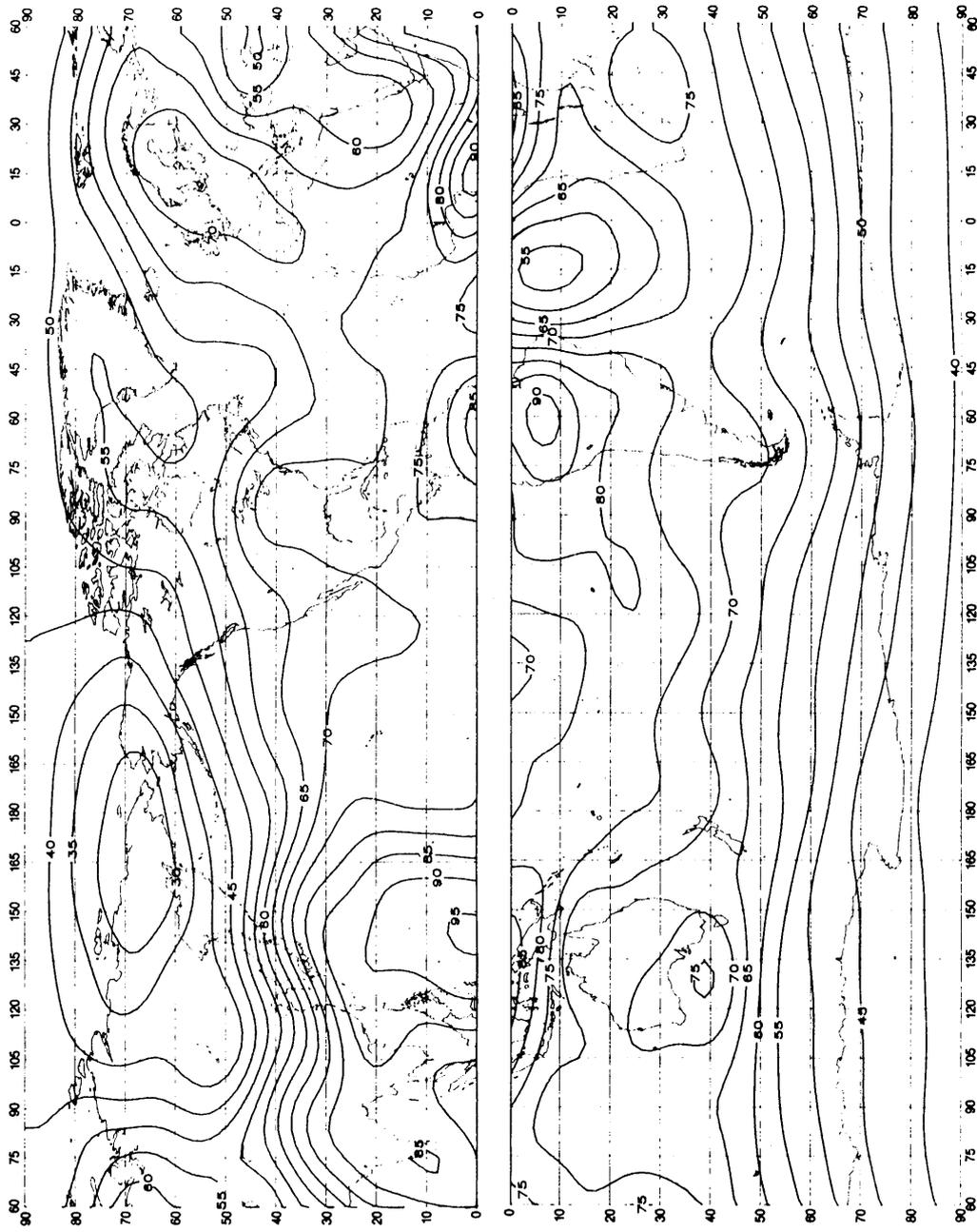


FIGURA 15a — Valores probables del ruido atmosférico, F_{om} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno, 0000-0400 hora local)

D18-sc

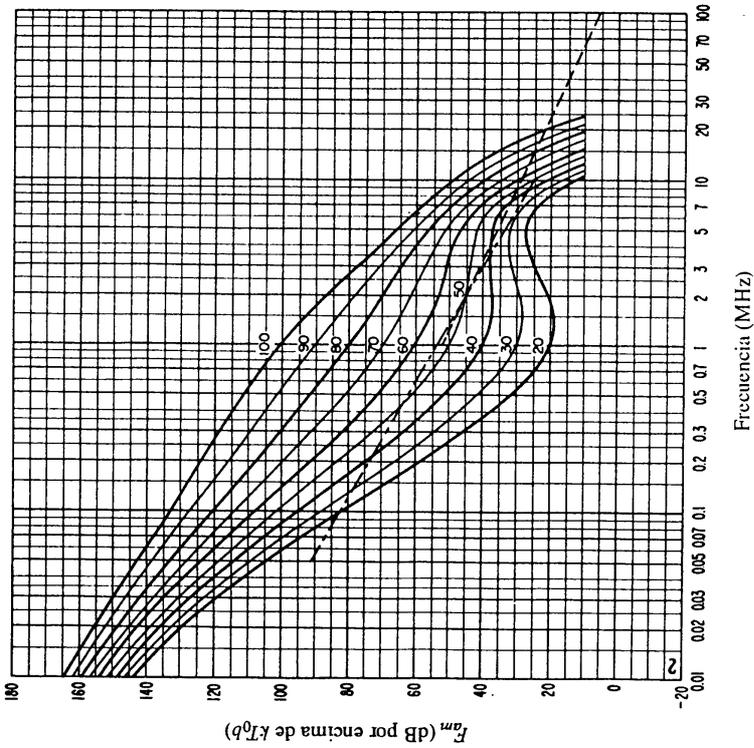


FIGURA 15b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno: 0000-0400 hora local)

- Valores probables del ruido atmosférico
- - - - - Valores probables del ruido artificial en un punto de recepción tranquilo
- - - - - Valores probables del ruido galáctico

Nota 1 – Por razones prácticas se ha utilizado un punto en lugar de una coma para indicar las cifras decimales.

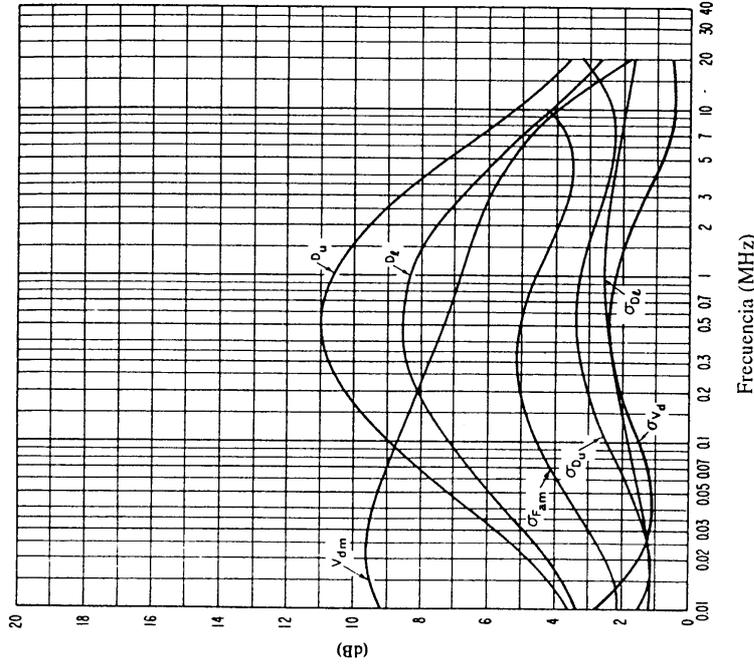


FIGURA 15c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno: 0000-0400 hora local)

- $\sigma_{F_{am}}$ — Desviación típica de los valores de F_{am}
- D_u — Relación del decilo superior al valor mediano, F_{am}
- σ_{D_u} — Desviación típica de los valores de D_u
- D_l — Relación del valor mediano F_{am} al decilo inferior
- σ_{D_l} — Desviación típica de los valores de D_l
- V_{dm} — Valor probable de la desviación mediana de la tensión media (valores para una anchura de banda de 200 Hz)
- σ_{V_d} — Desviación típica de V_d

D19-sc

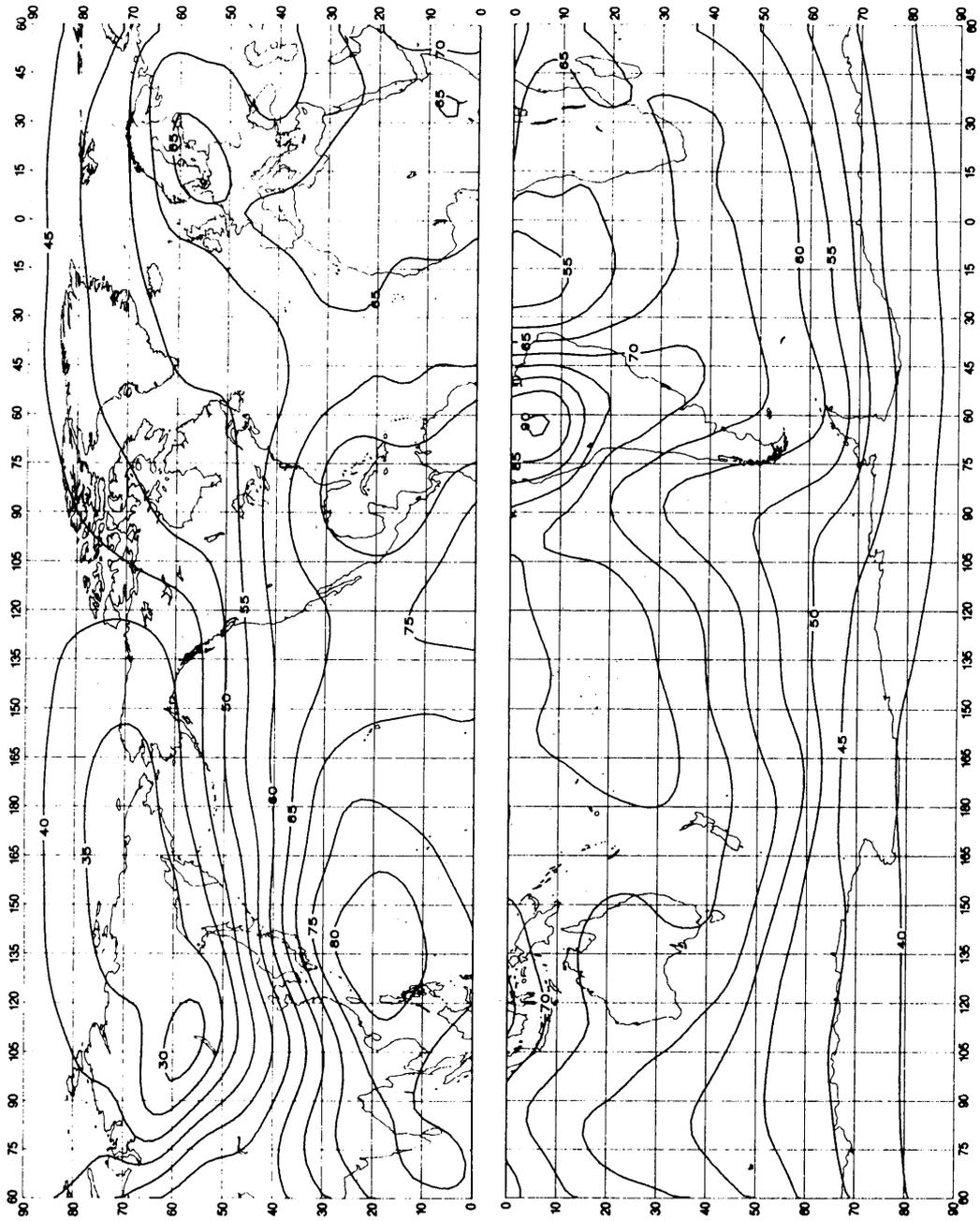


FIGURA 16a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{amb} en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno; 0400-0800 hora local)

D20-sc

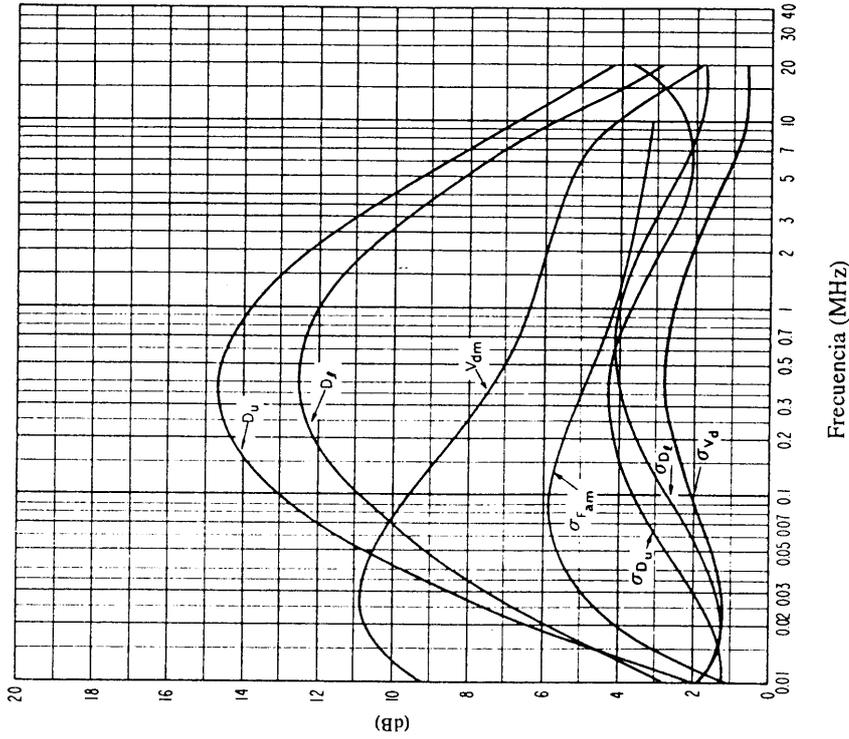


FIGURA 16c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Invierno; 0400-0800 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

D21-isc

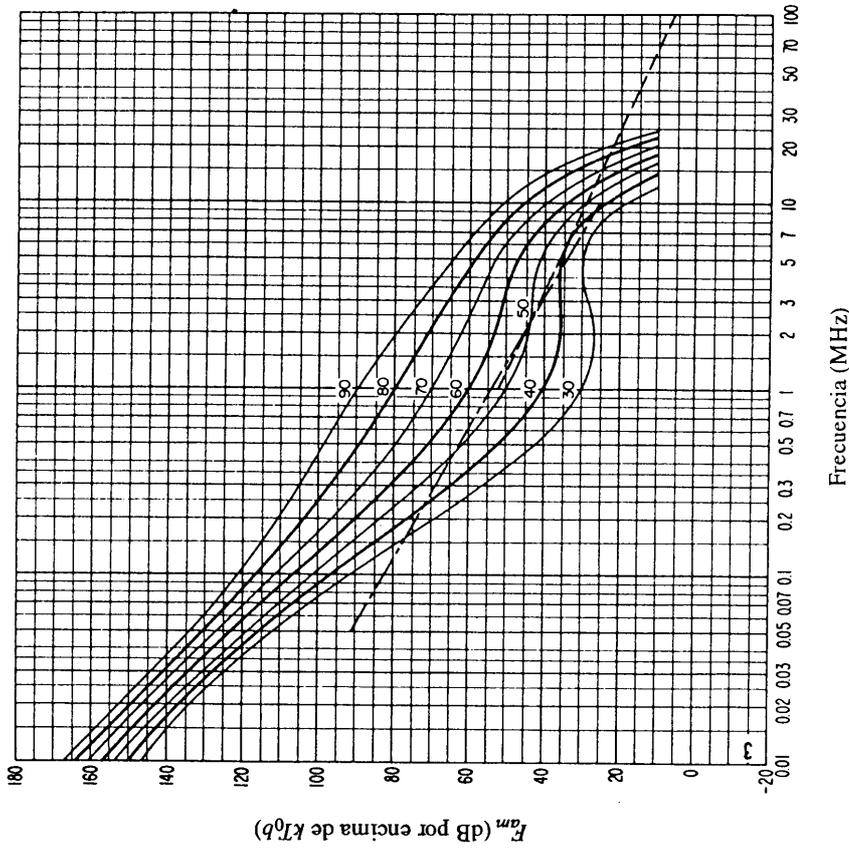


FIGURA 16b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Invierno; 0400-0800 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

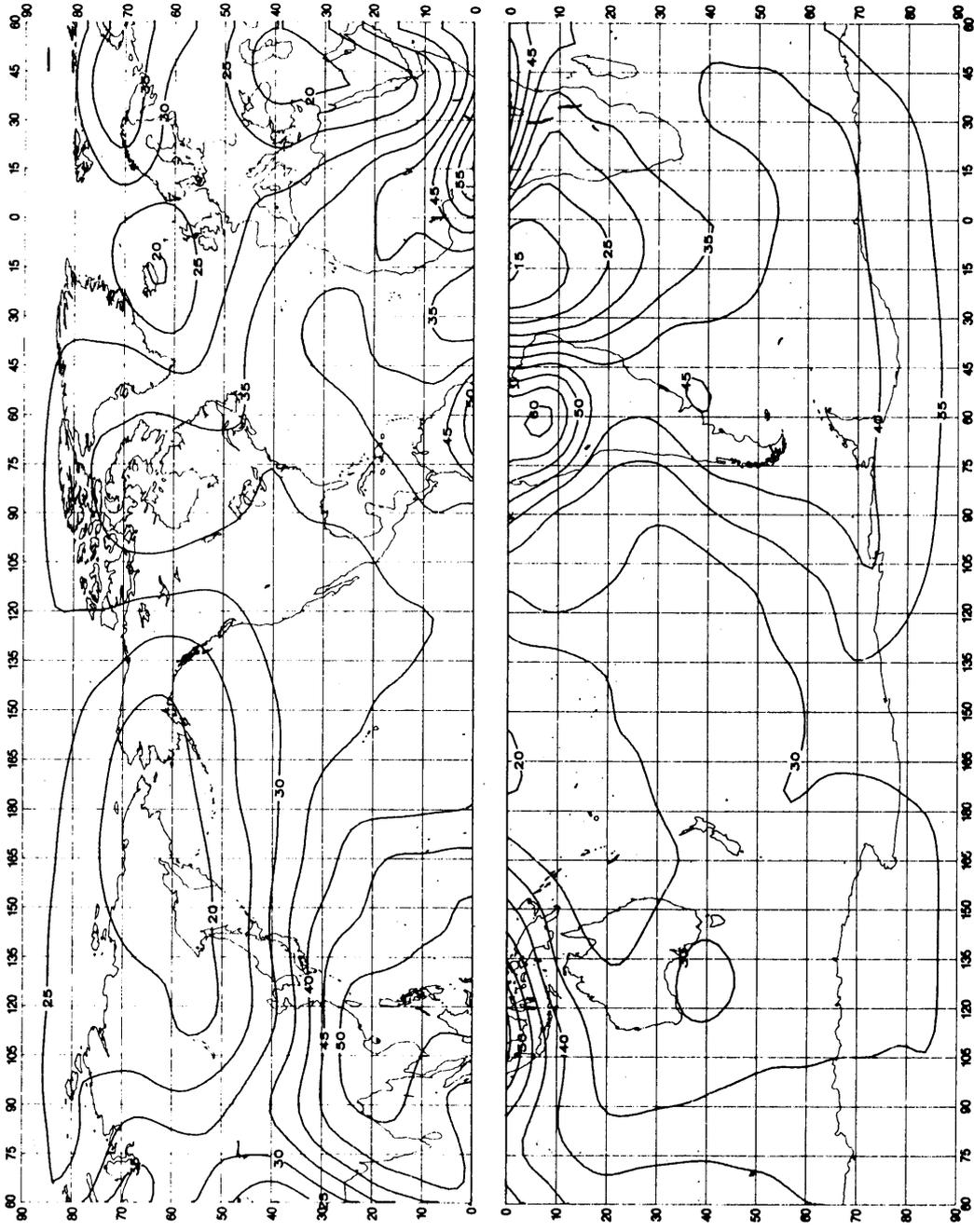


FIGURA 17a - Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno; 0800-1200 hora local)

D22-SC

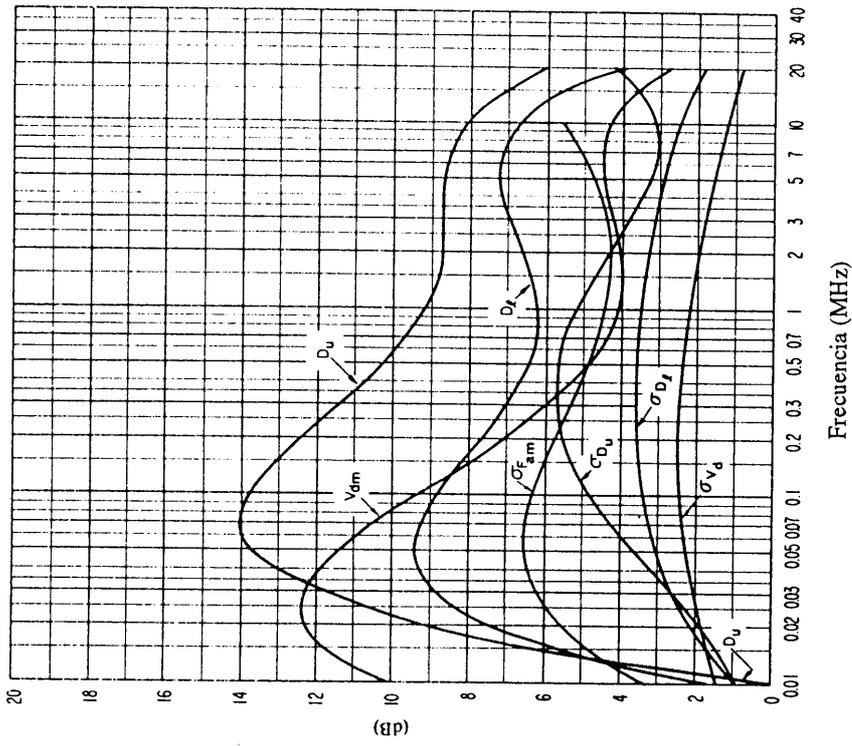


FIGURA 17c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Invierno; 0800-1200 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

0372-17b

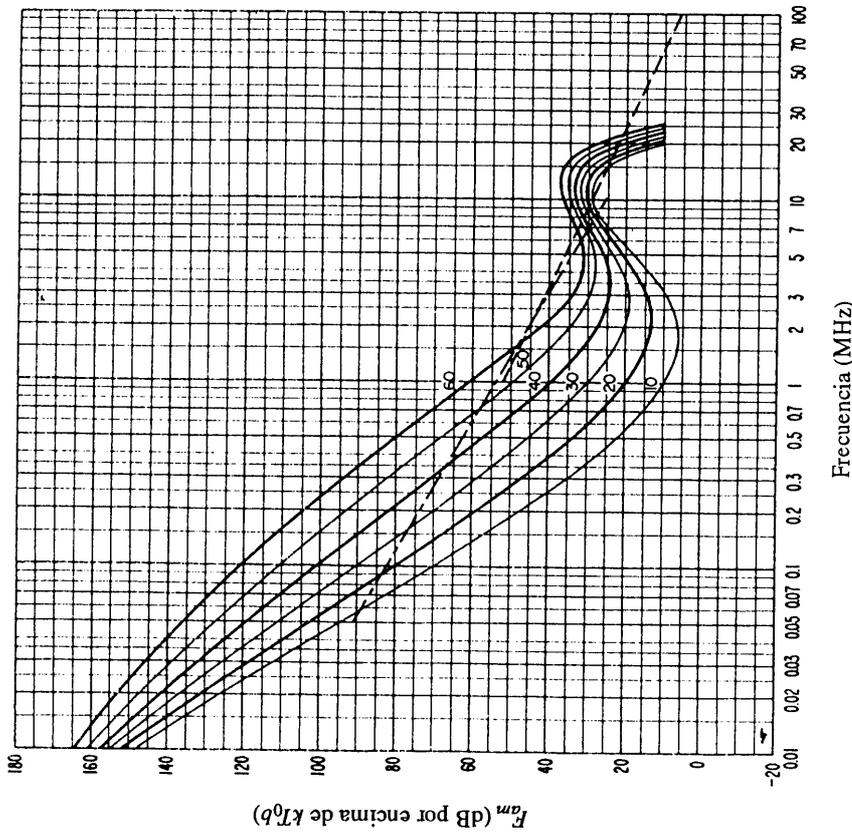


FIGURA 17b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Invierno; 0800-1200 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

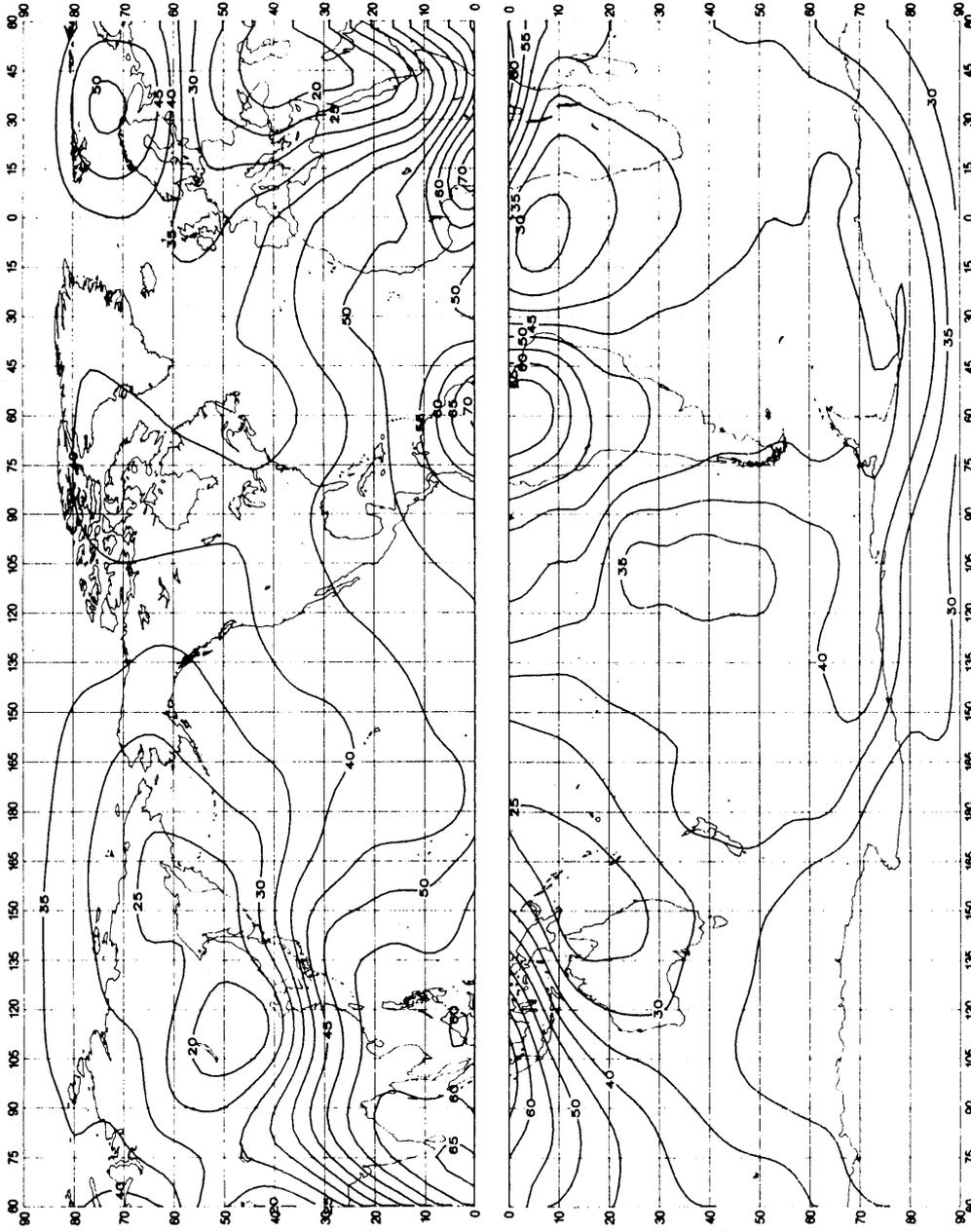


FIGURA 18a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{fm} , en dB por encima de 1 MHz (Invierno; 1200-1600 hora local)

D24-sc

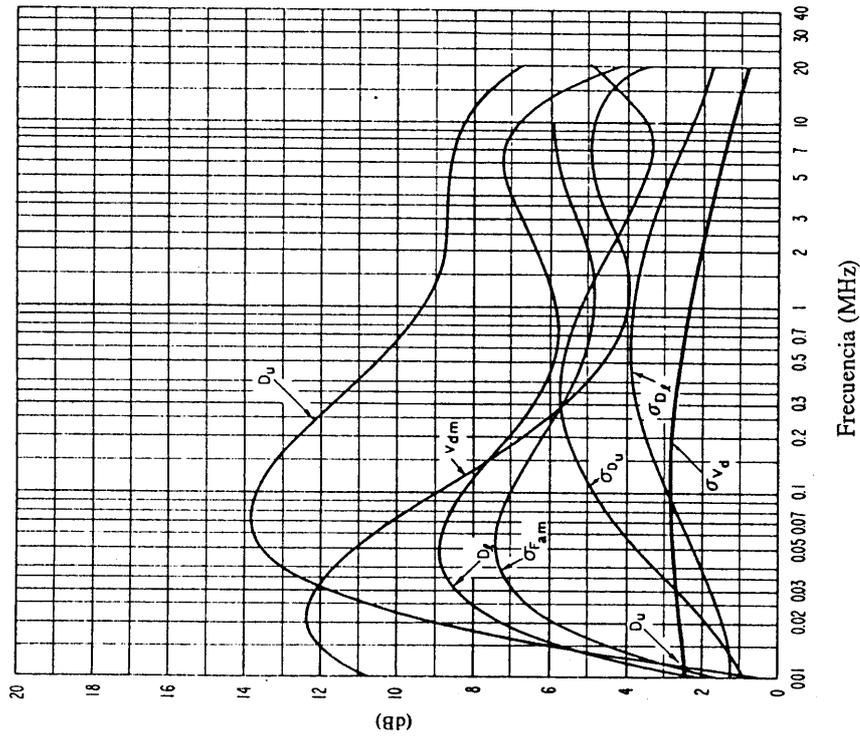


FIGURA 18c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Invierno; 1200-1600 hora local)

0372-18b

Véase la leyenda de la fig. 15c

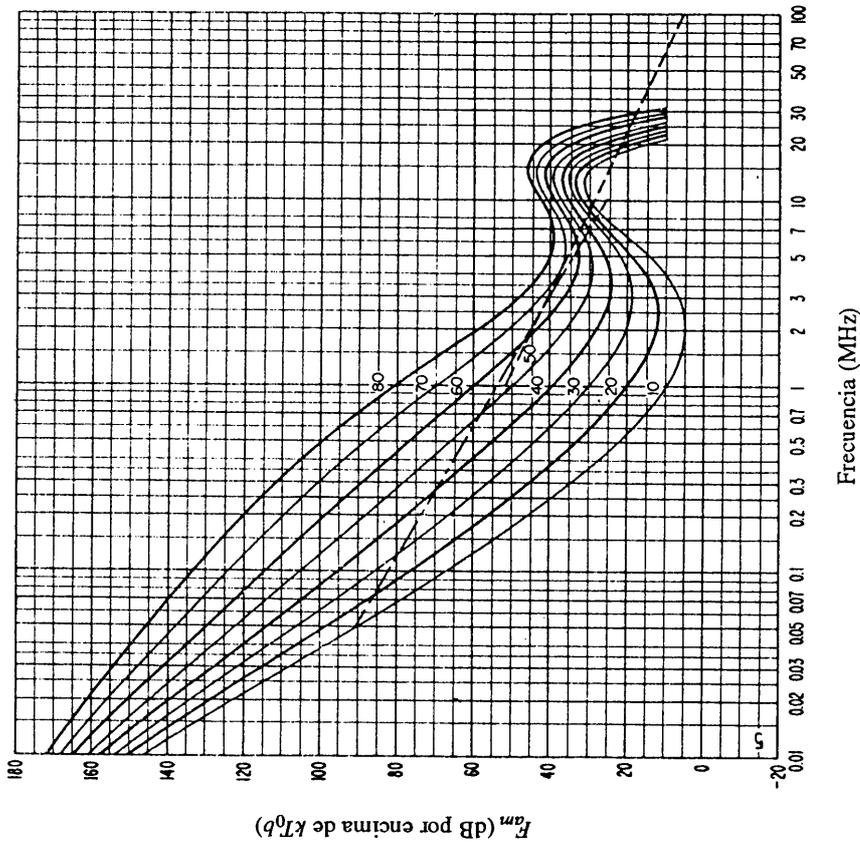


FIGURA 18b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Invierno; 1200-1600 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

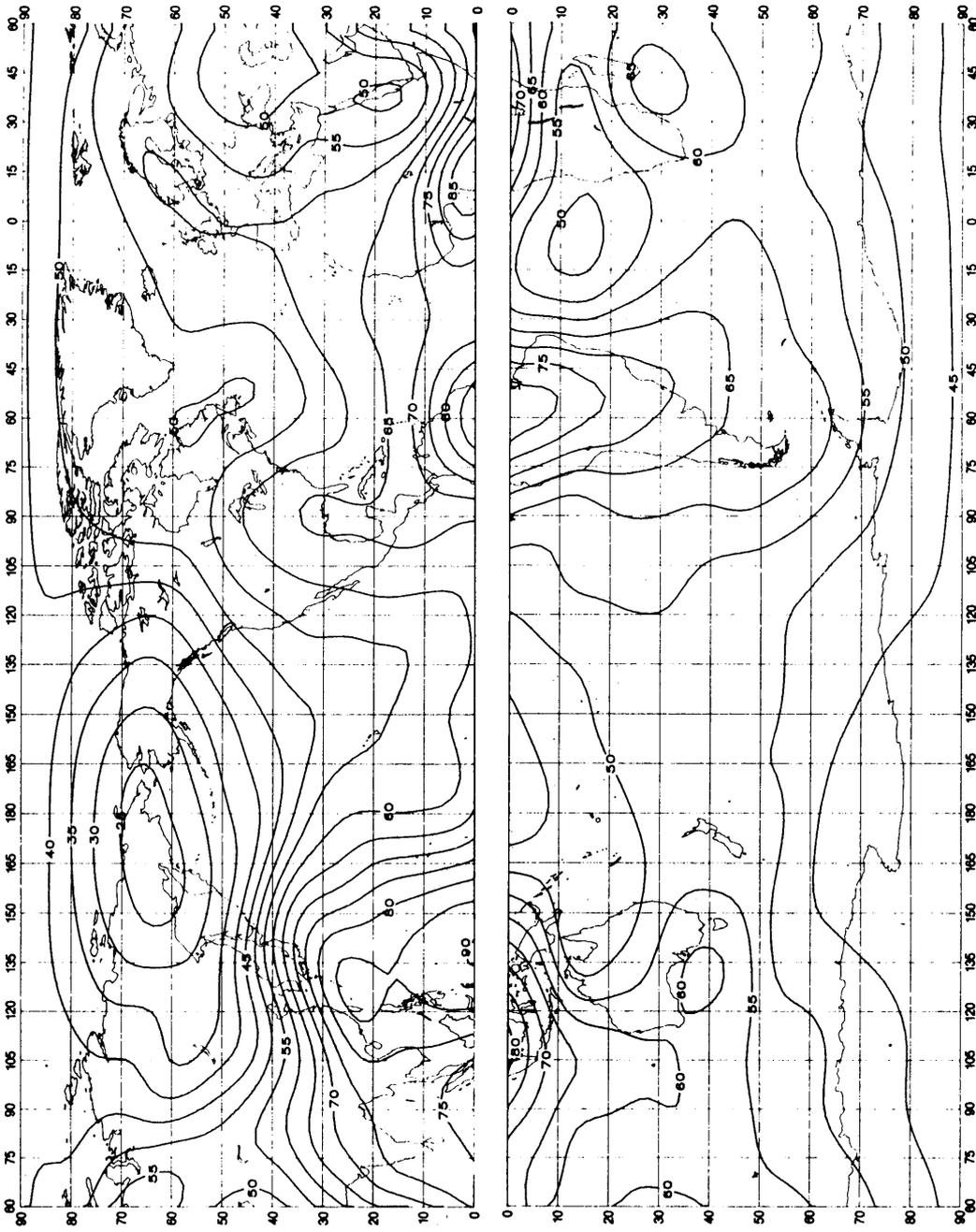


FIGURA 19a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno, 1600-2000 hora local)

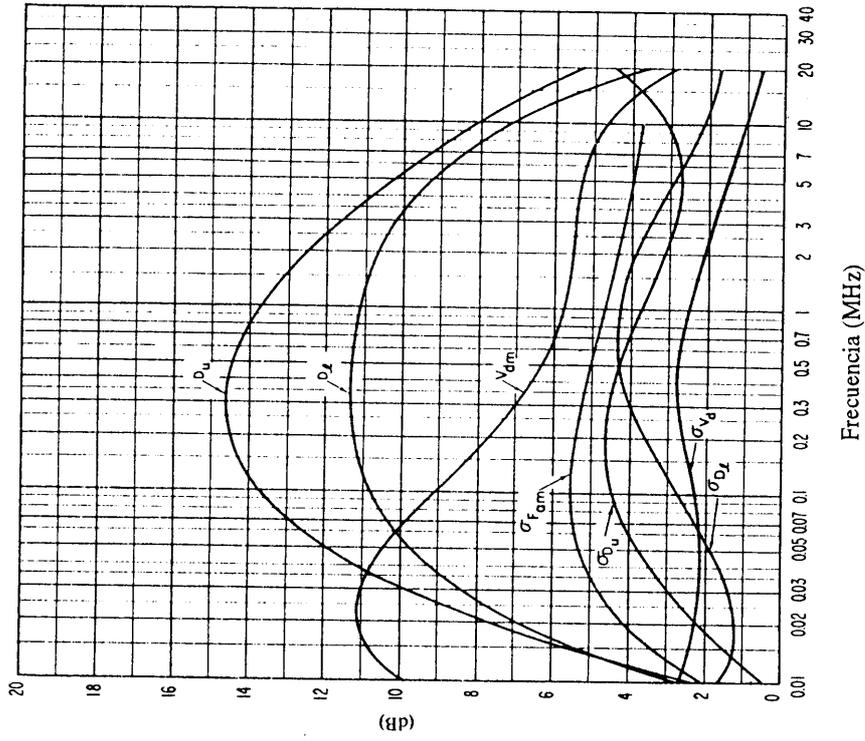


FIGURA 19c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Invierno; 1600-2000 hora local)

0372-19b

Véase la leyenda de la fig. 15c

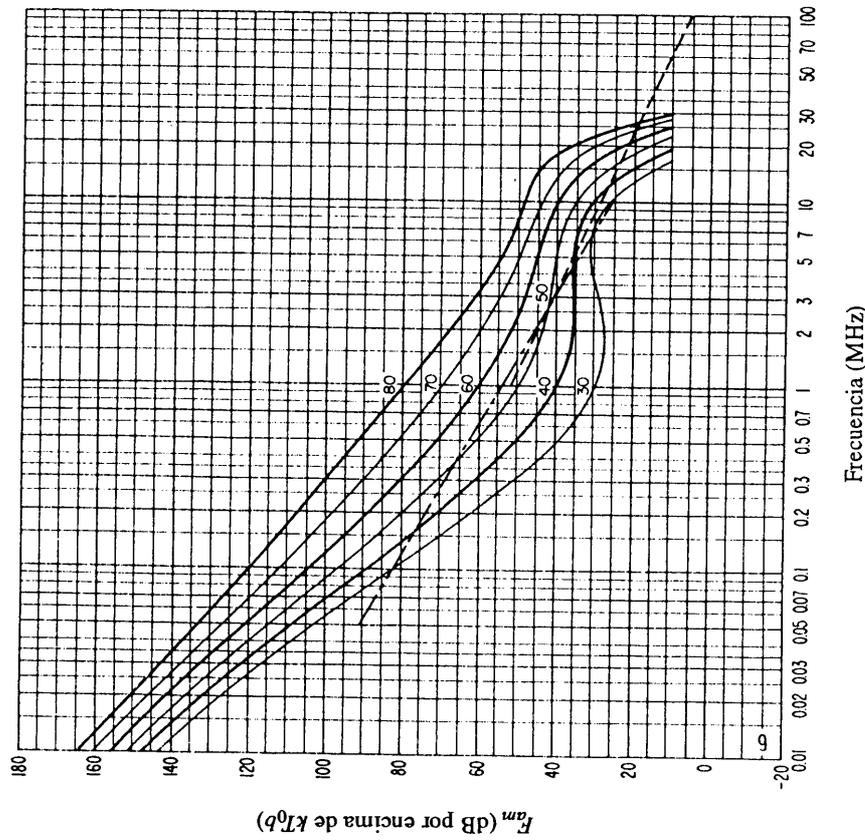


FIGURA 19b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Invierno; 1600-2000 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

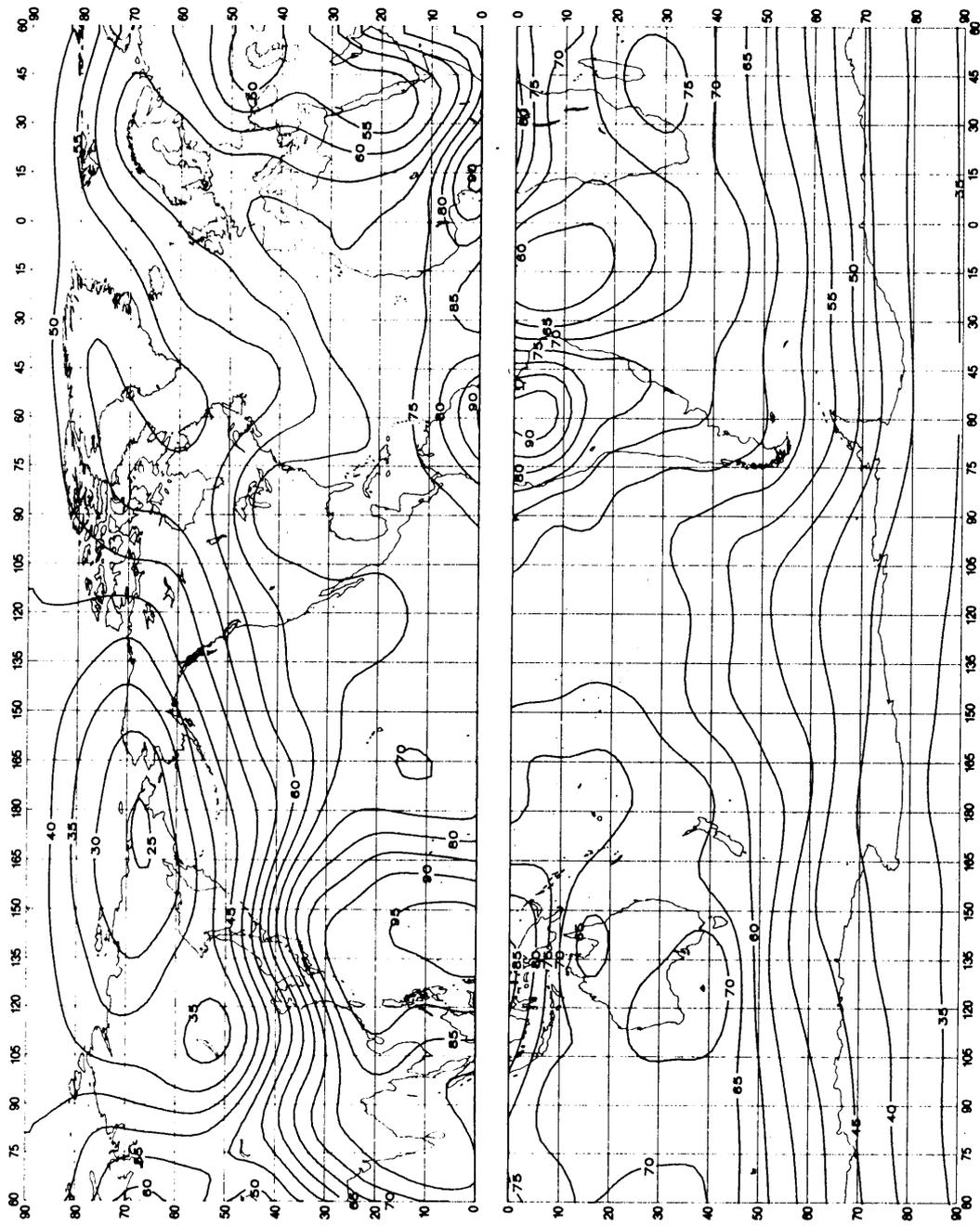


FIGURA 20a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Invierno; 2000-2400 hora local)

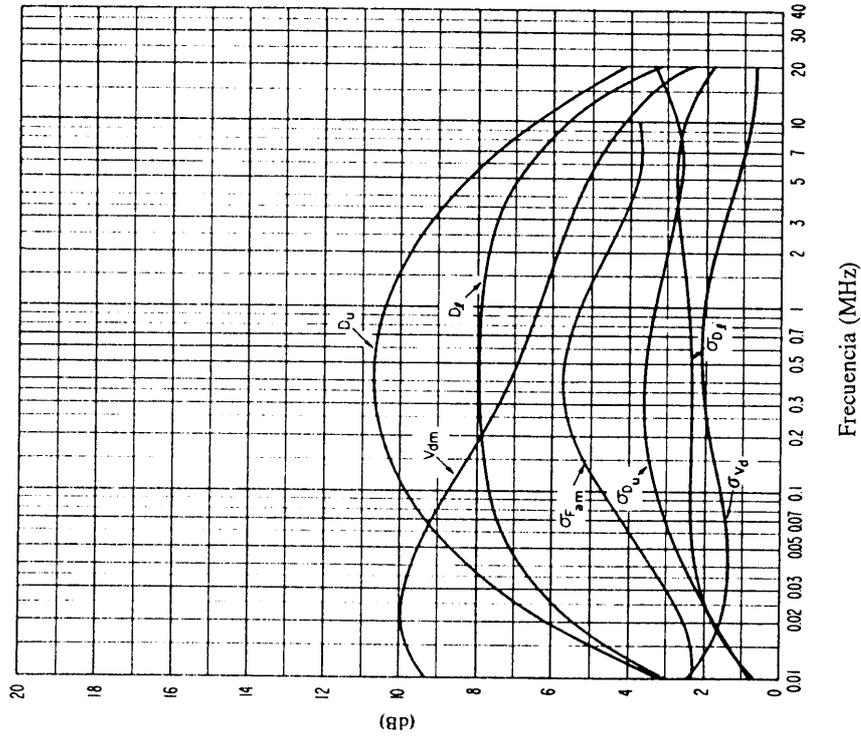


FIGURA 20c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Invierno; 2000-2400 hora local)

0372-20b

Véase la leyenda de la fig. 15c

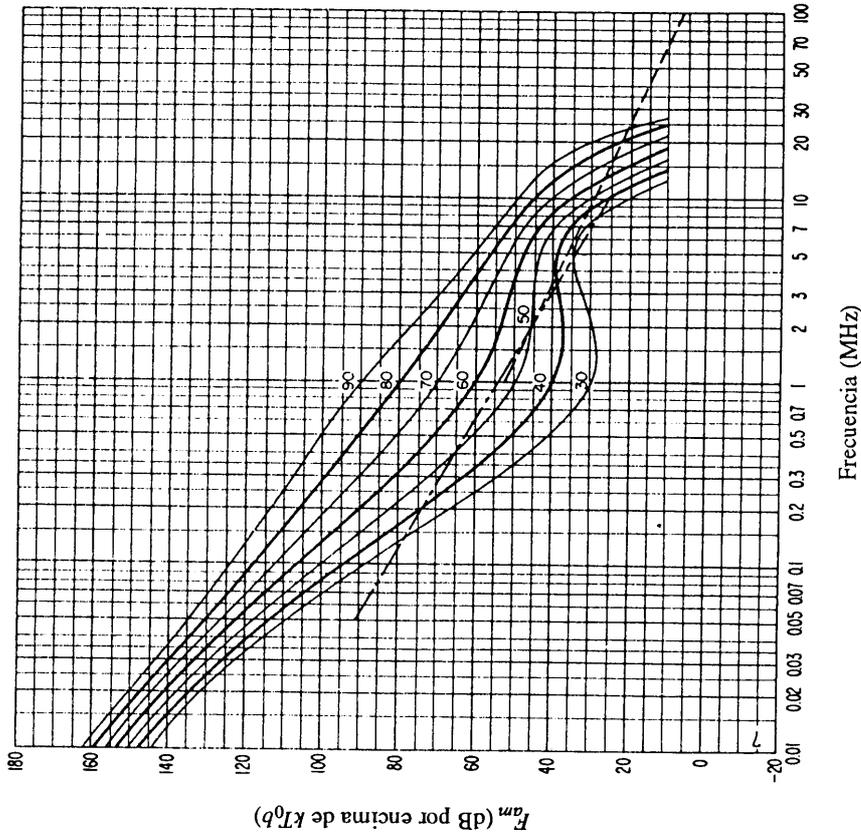


FIGURA 20b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Invierno; 2000-2400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

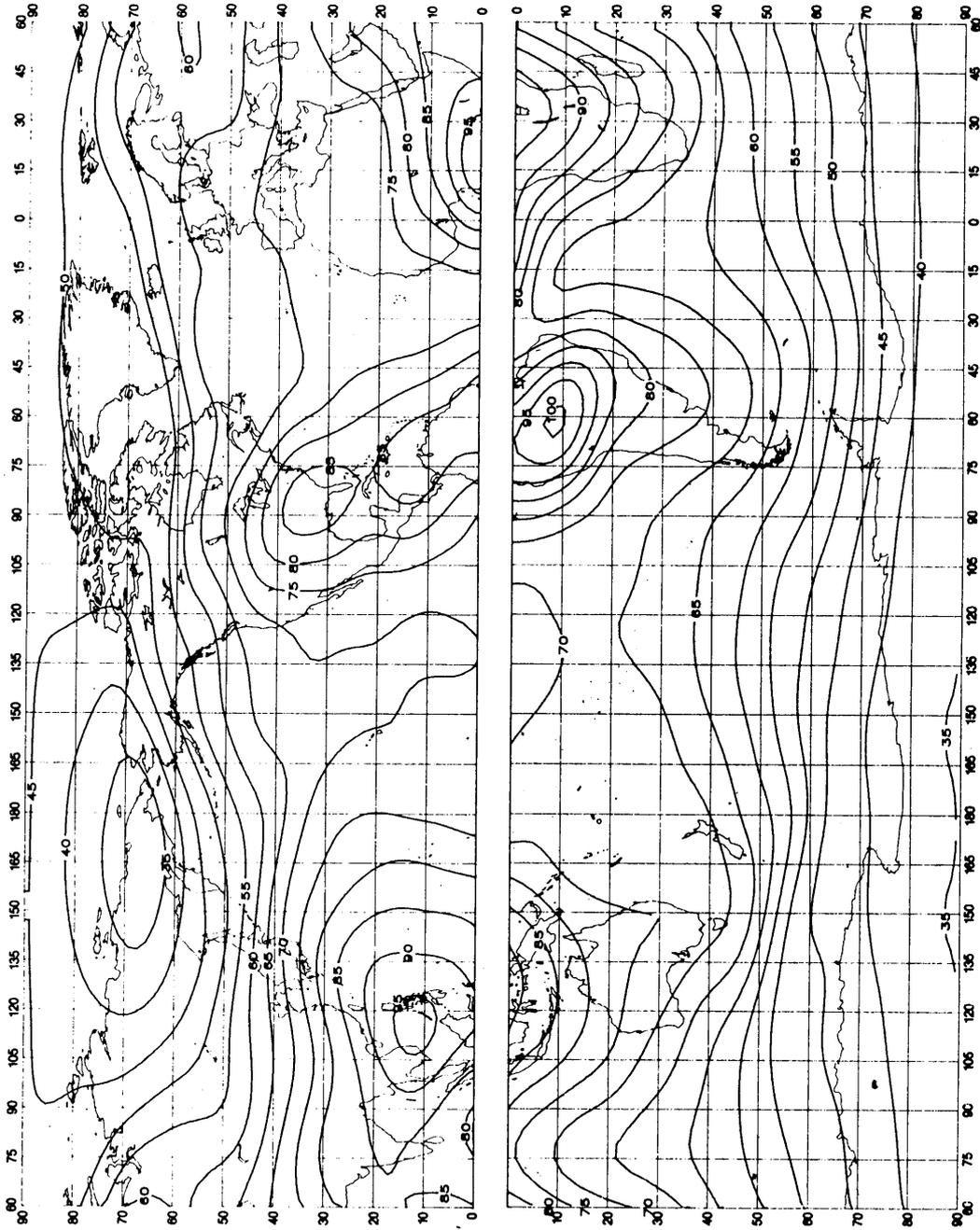


FIGURA 21a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 0000-0400 hora local)

D30-sc

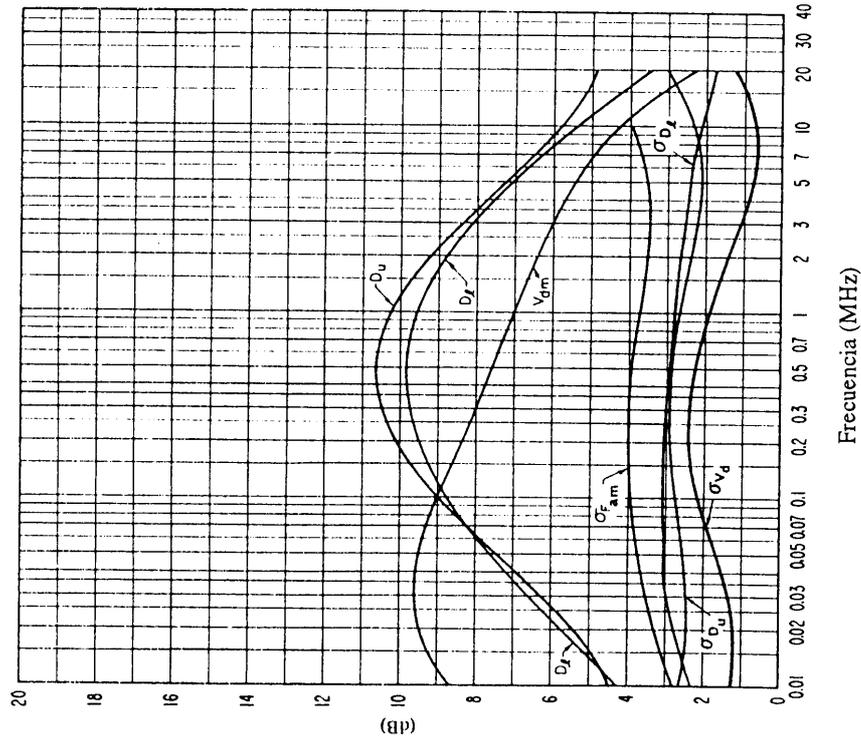


FIGURA 21c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Primavera; 0000-0400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

D31-sc

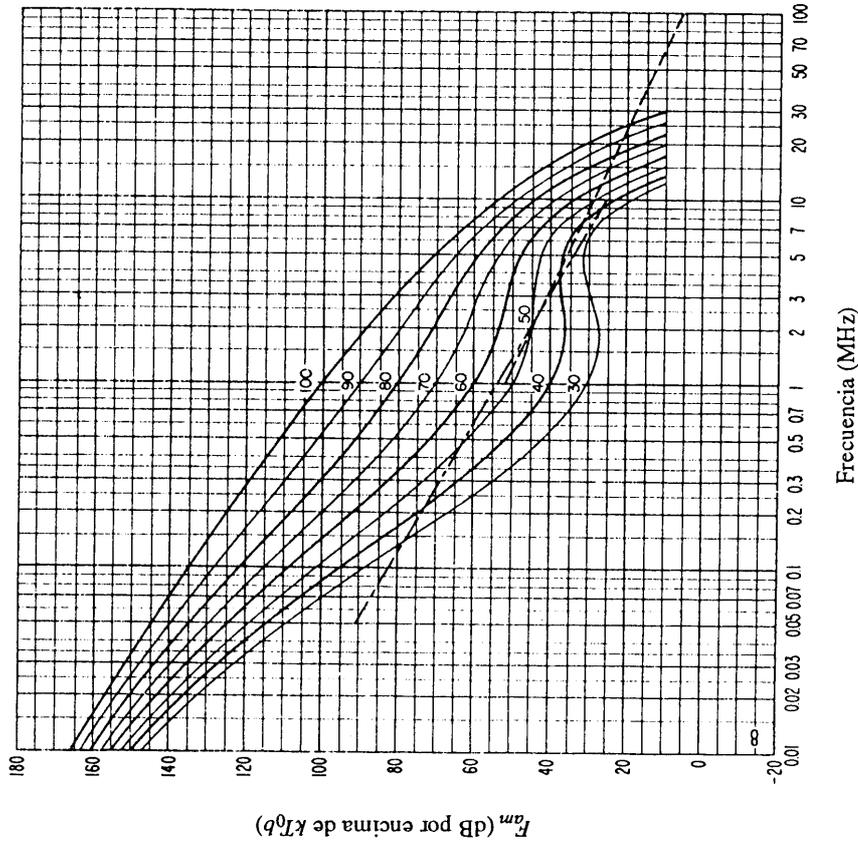


FIGURA 21b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Primavera; 0000-0400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

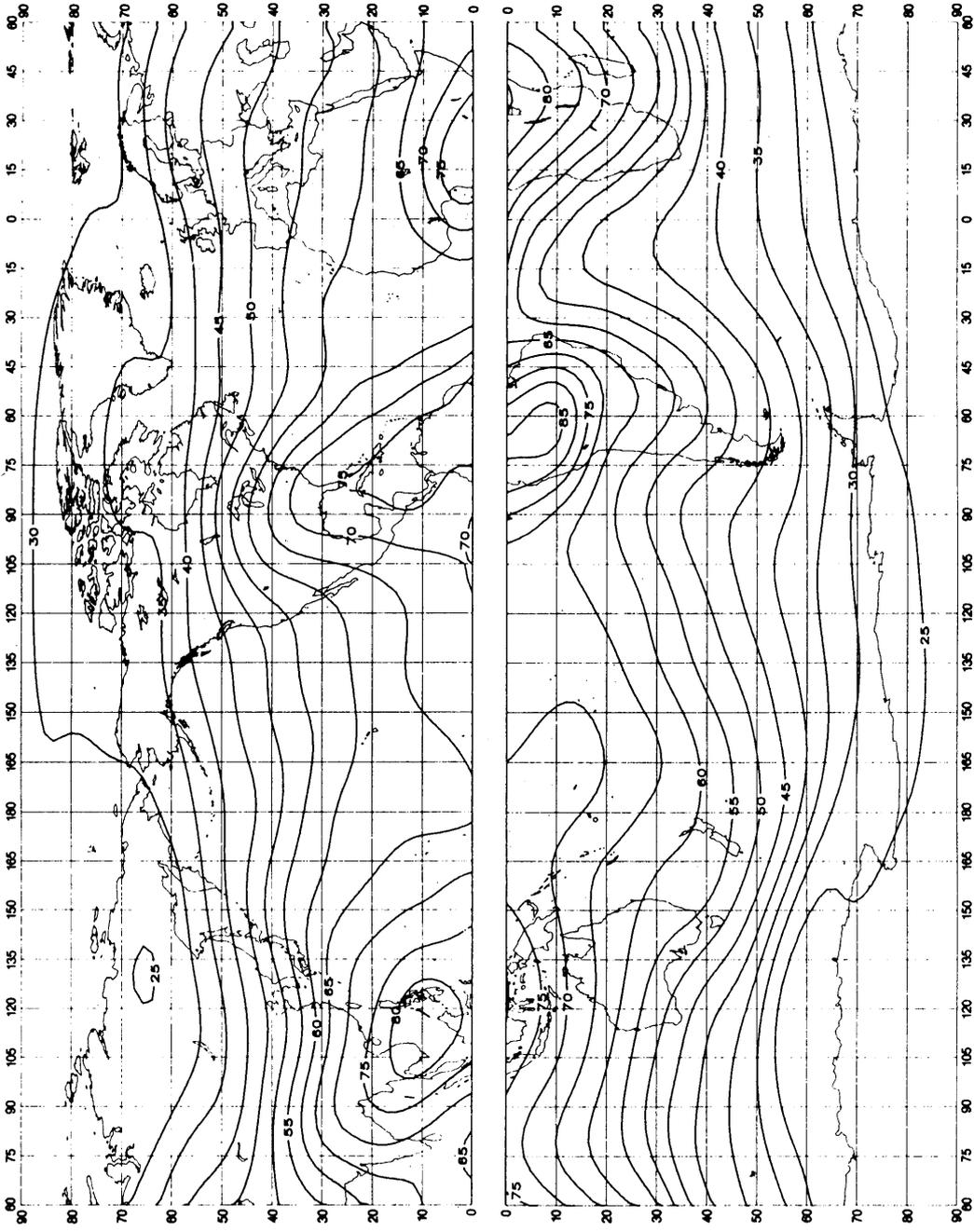


FIGURA 22a - Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 0400-0800 hora local)

D32-sc

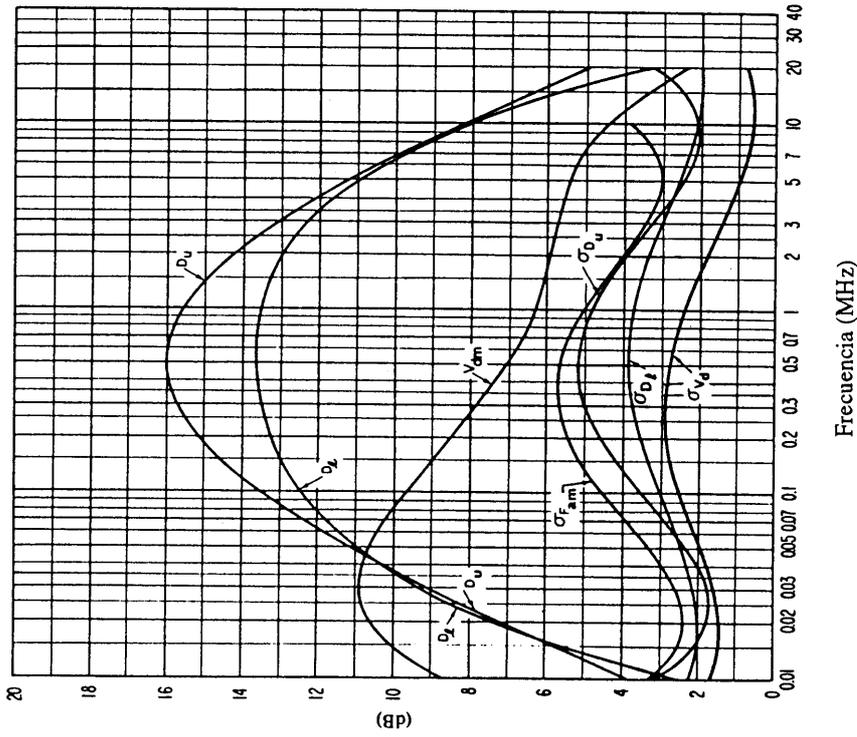


FIGURA 22c - Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Primavera; 0400-0800 hora local)

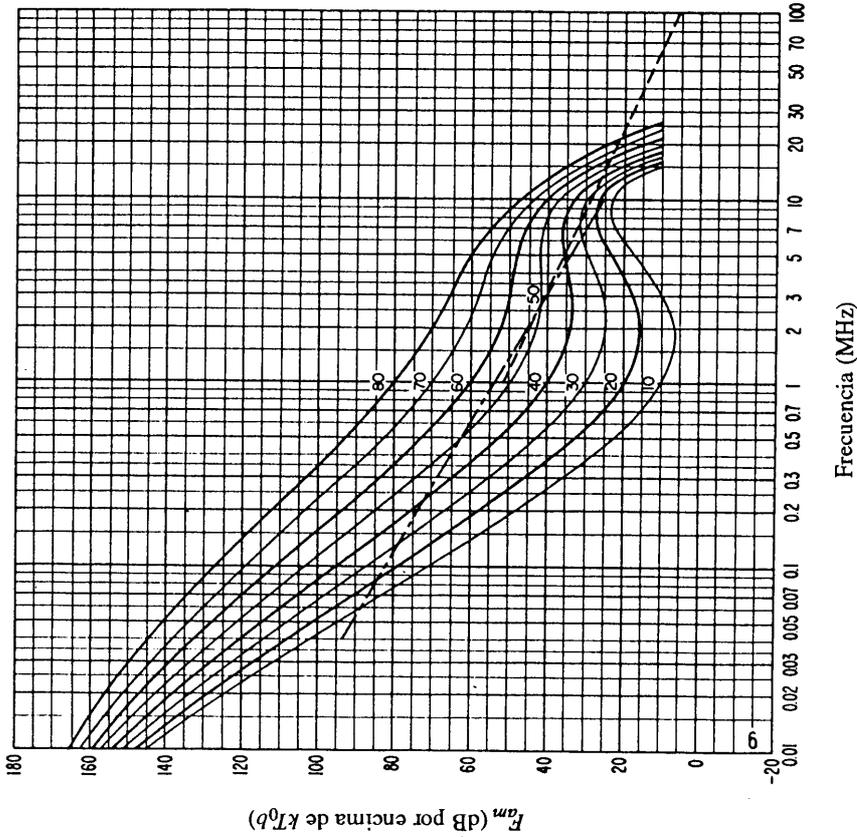


FIGURA 22b - Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Primavera; 0400-0800 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

Véase la leyenda de la fig. 15b

0372-22b

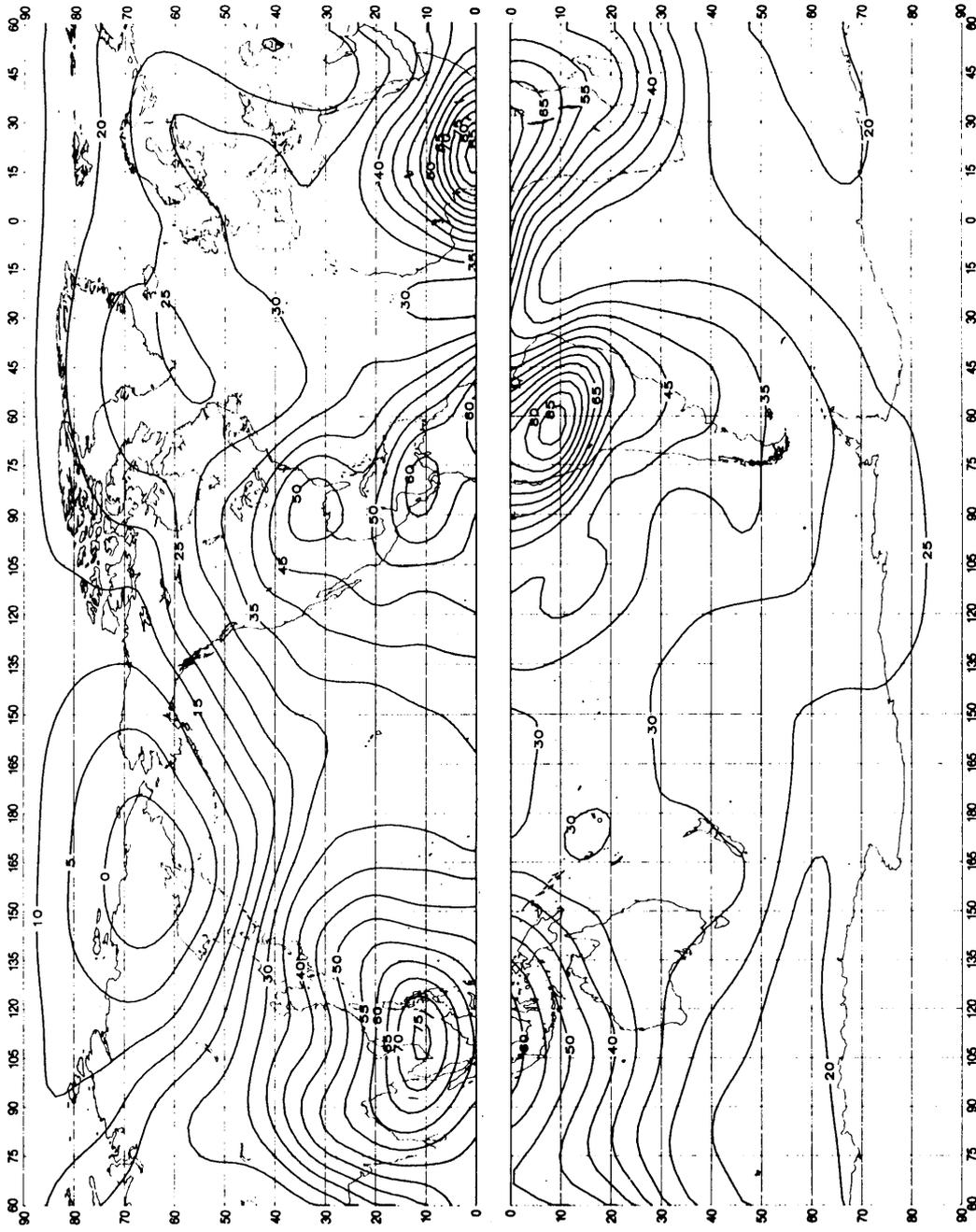


FIGURA 23a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Primavera; 0800-1200 hora local)

D34-sc

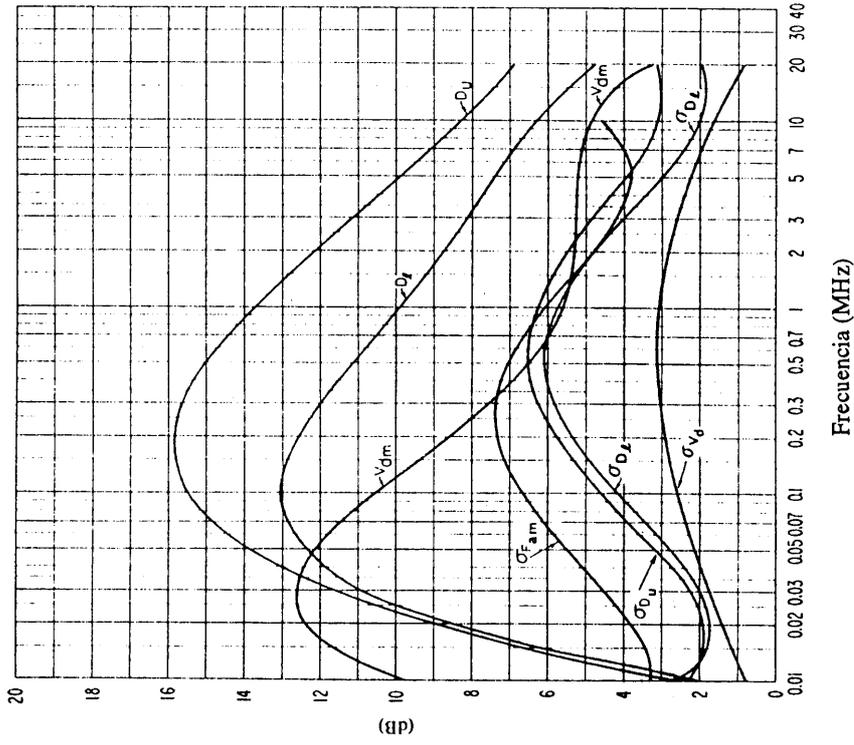


FIGURA 23c -- Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Primavera; 0800-1200 hora local)

0372-23b

Véase la leyenda de la fig. 15c

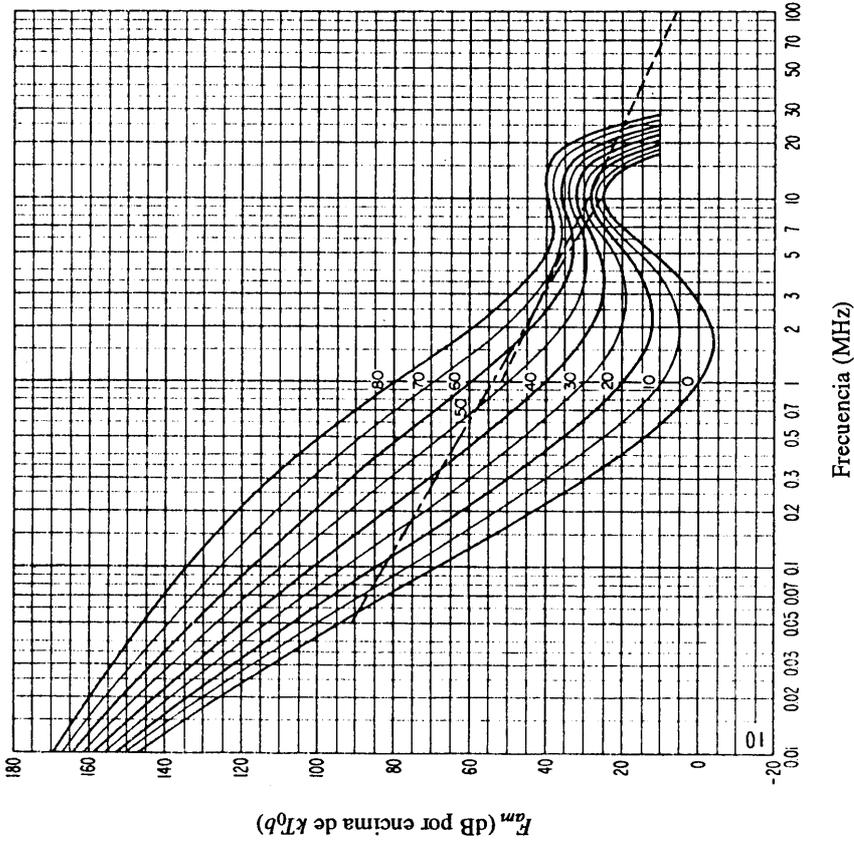


FIGURA 23b -- Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Primavera; 0800-1200 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

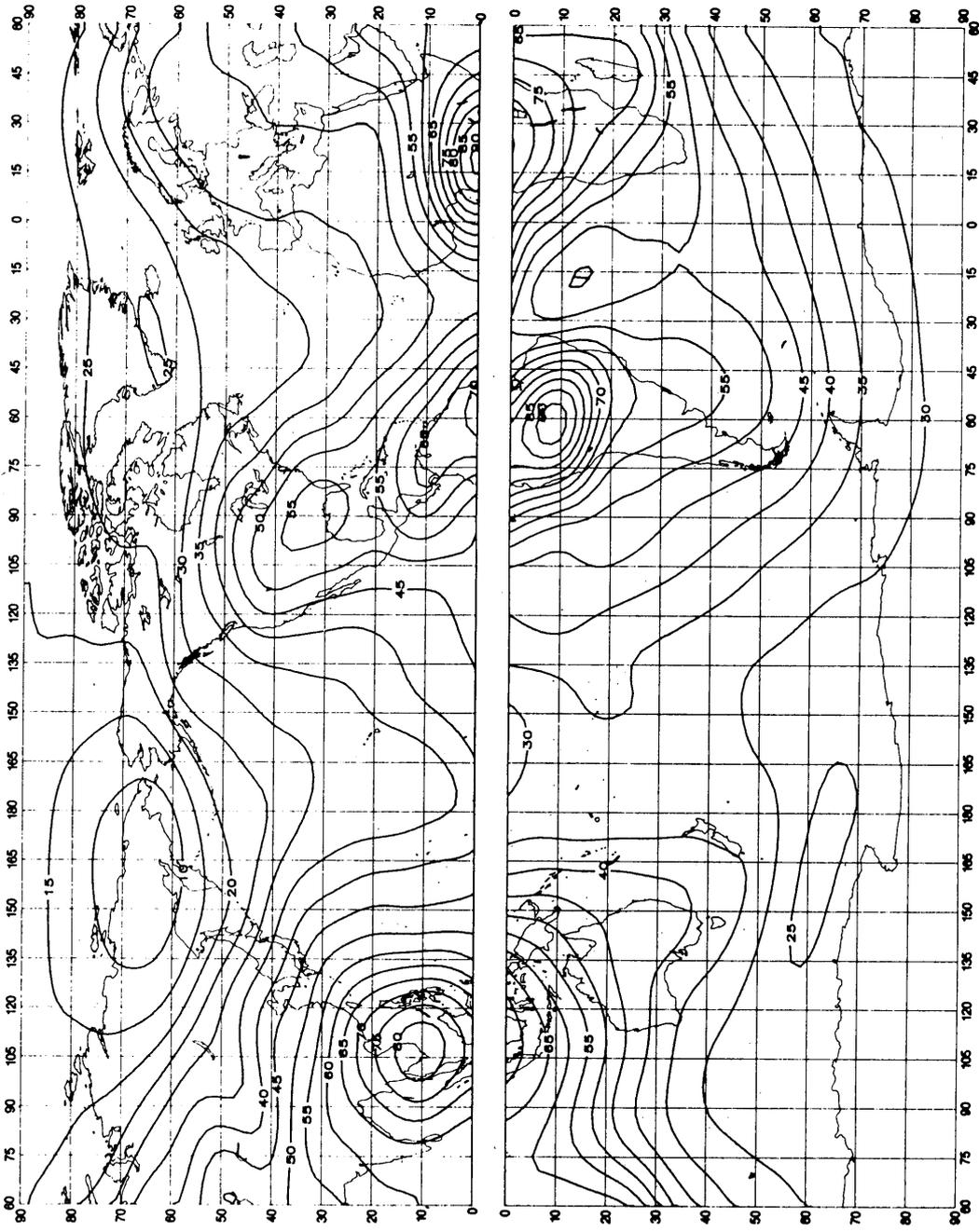


FIGURA 24a -- Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Primavera; 1200-1600 hora local)

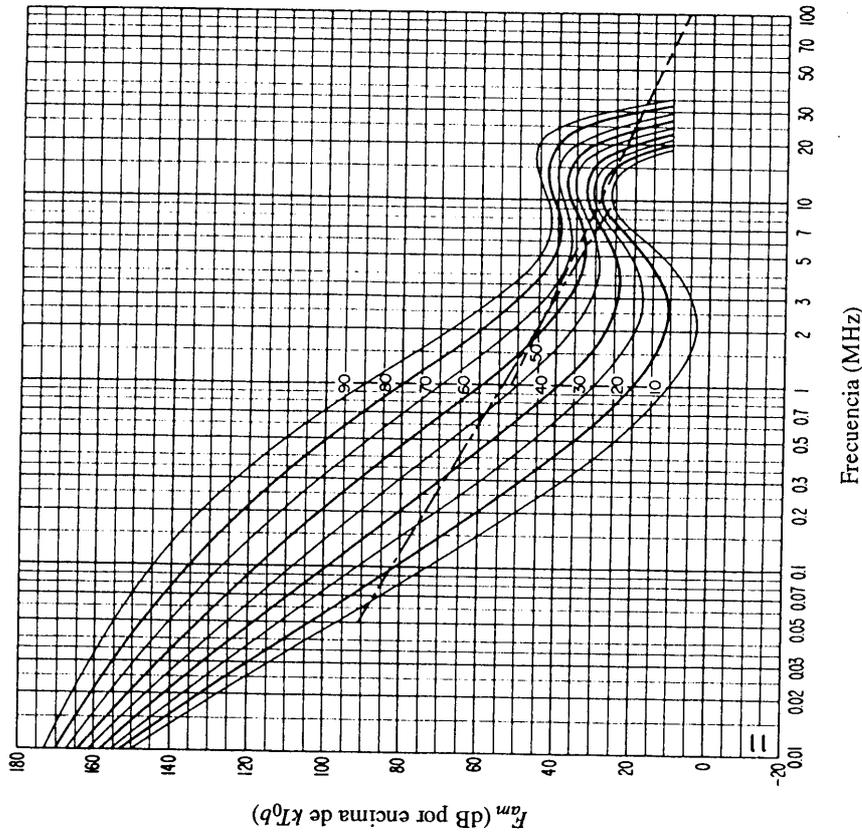
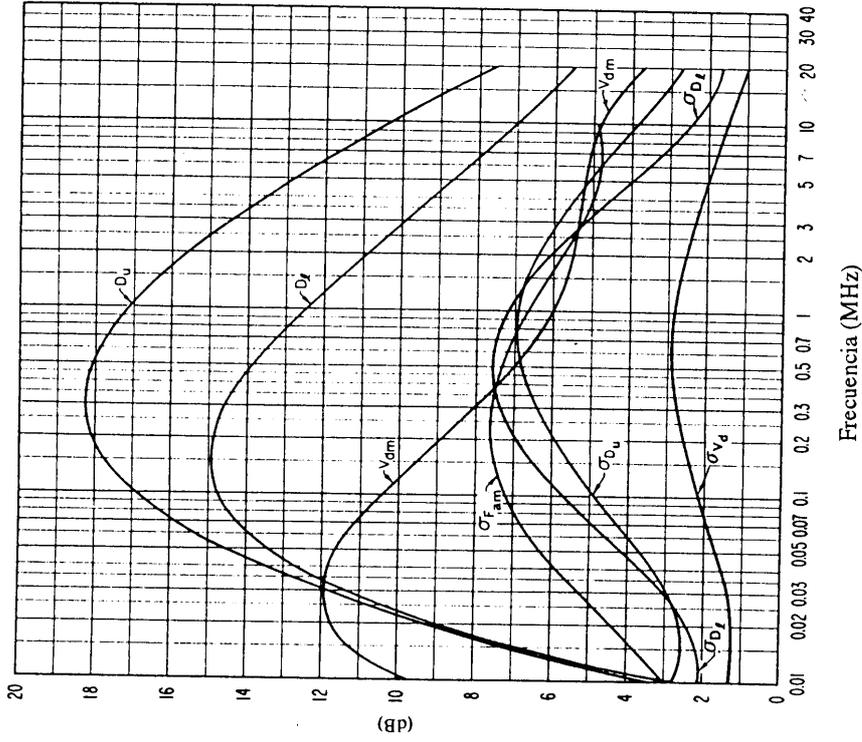


FIGURA 24c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Primavera; 1200-1600 hora local)

FIGURA 24b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Primavera; 1200-1600 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

Véase la leyenda de la fig. 15b

D37-8c

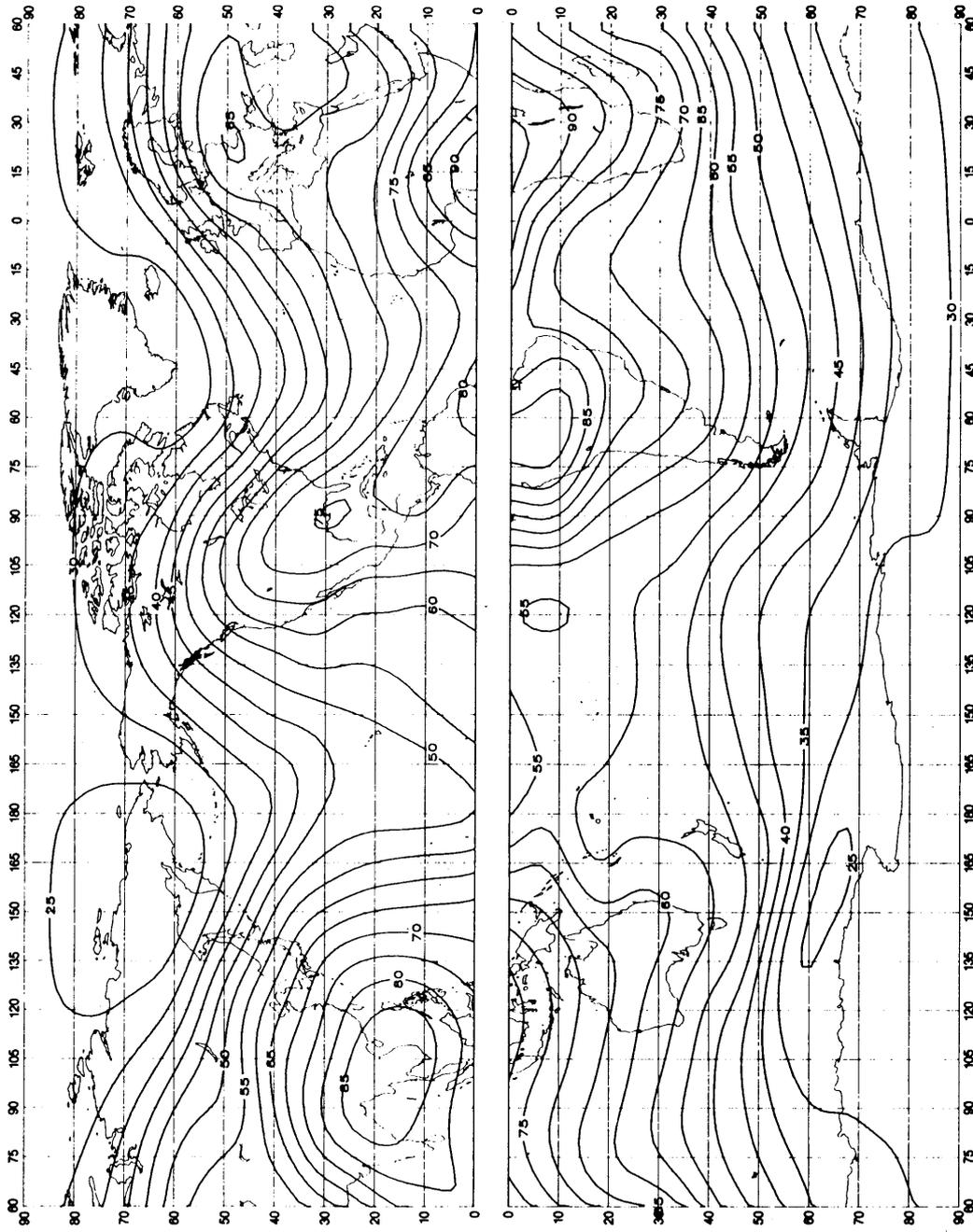


FIGURA 25a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 1600-2000 hora local)

D38-sc

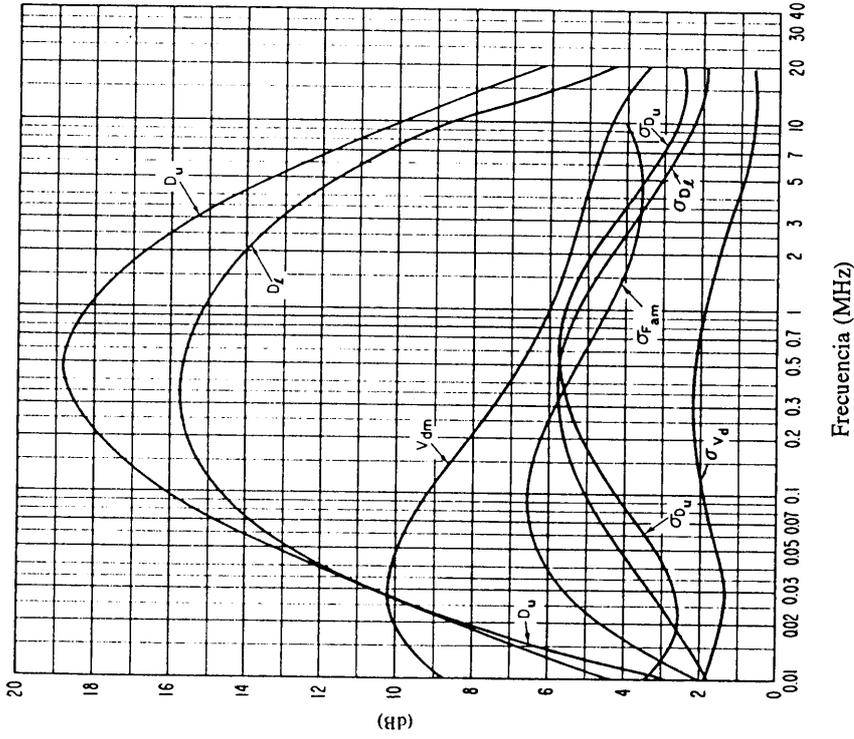


FIGURA 25c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Primavera; 1600-2000 hora local)

0372-2.5b

Véase la leyenda de la fig. 15c

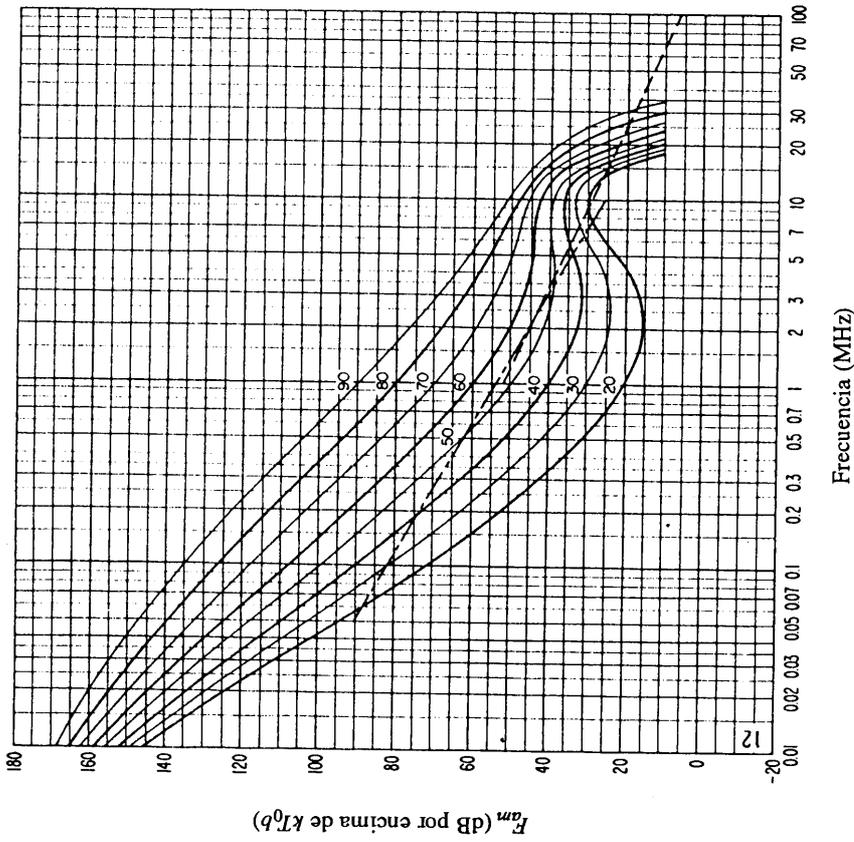
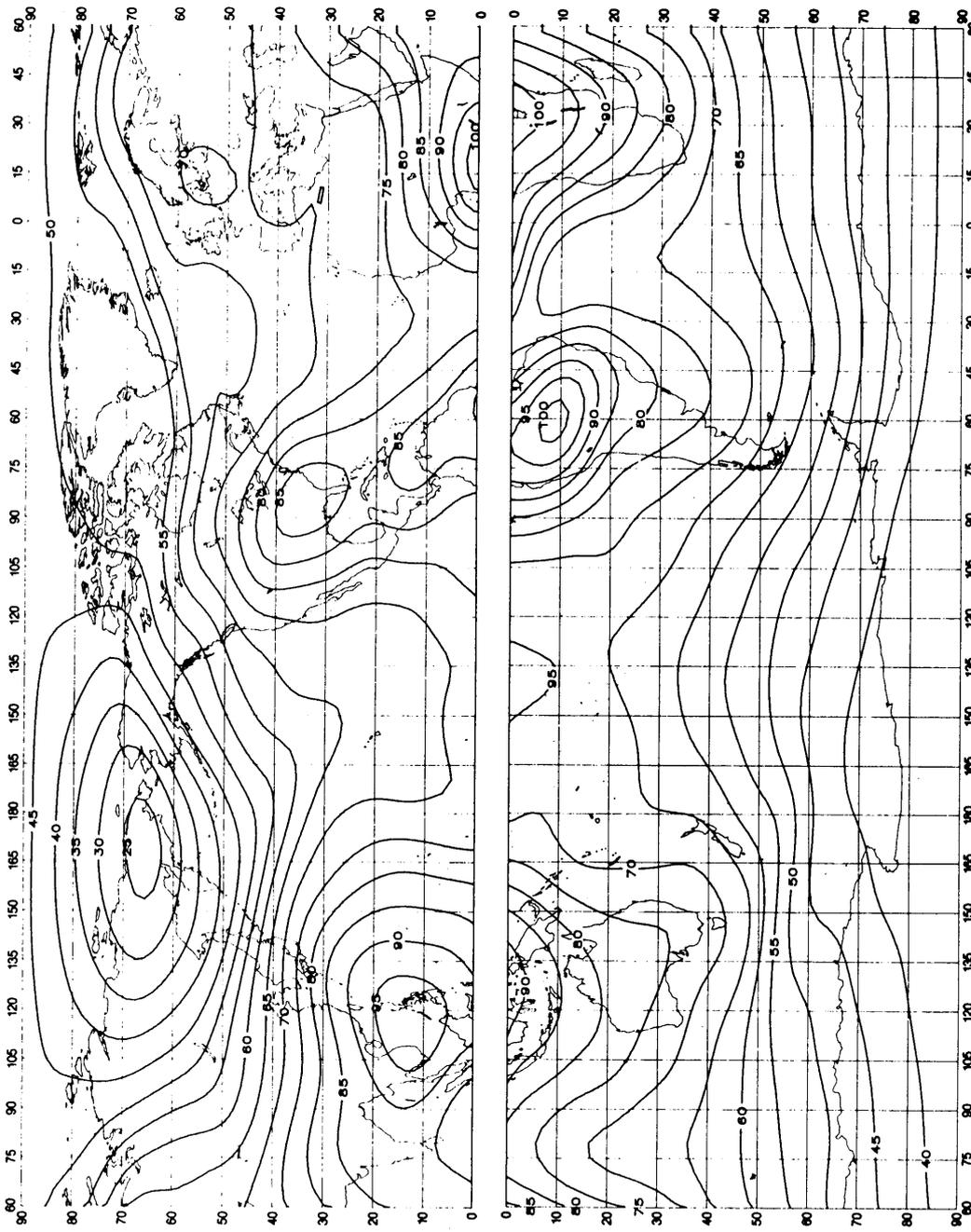


FIGURA 25b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Primavera; 1600-2000 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b



D30-SC

FIGURA 26a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Primavera; 2000-2400 hora local)

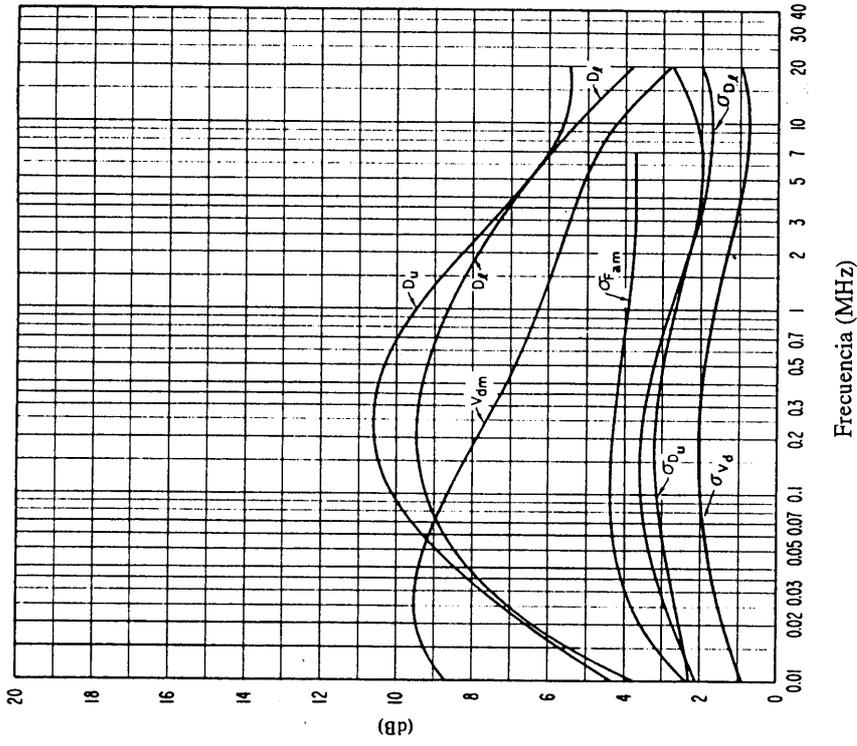


FIGURA 26c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Primavera; 2000-2400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

0372-26b

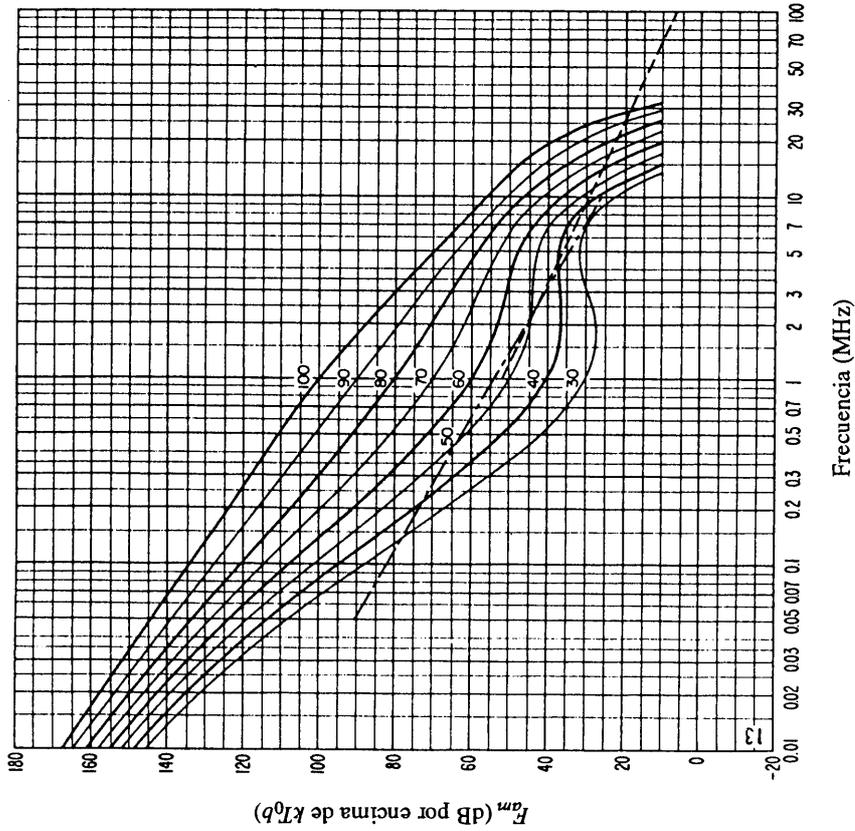


FIGURA 26b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Primavera; 2000-2400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

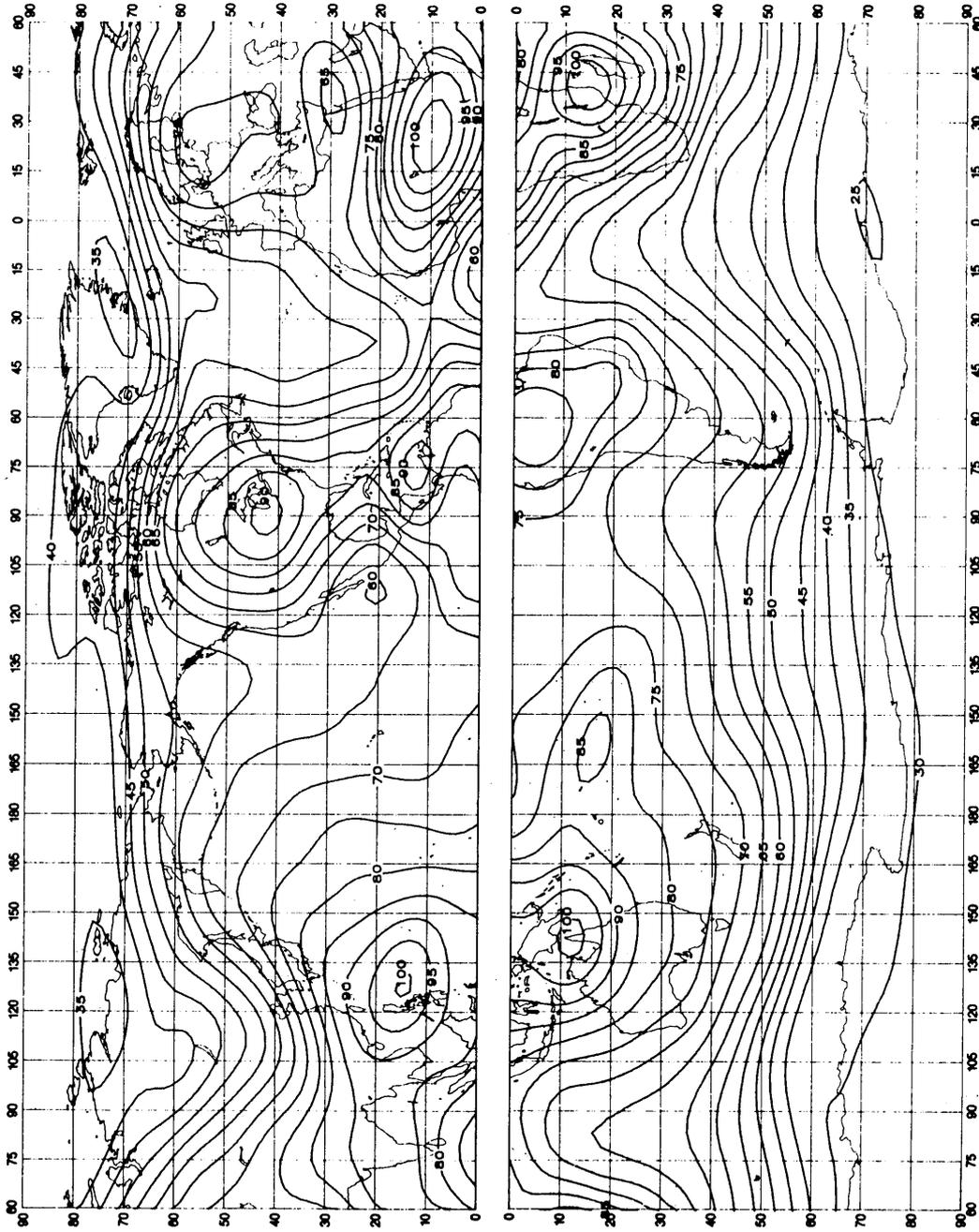


FIGURA 27a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 0000-0400 hora local)

D4E-3C

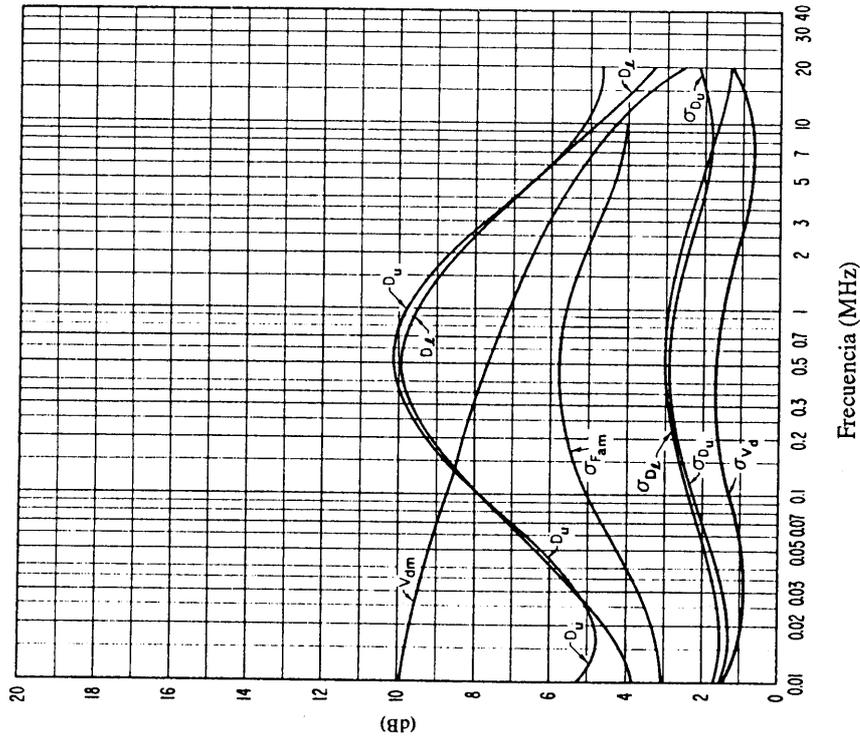


FIGURA 27c - Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Verano; 0000-0400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

0372-27b

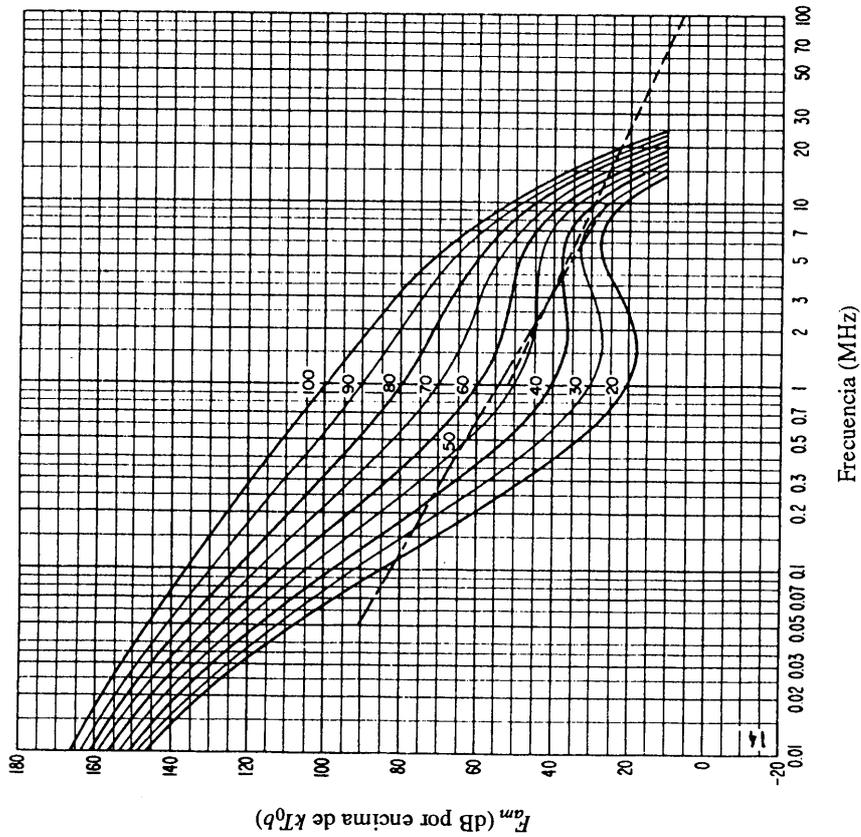


FIGURA 27b - Variaciones de ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Verano; 0000-0400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

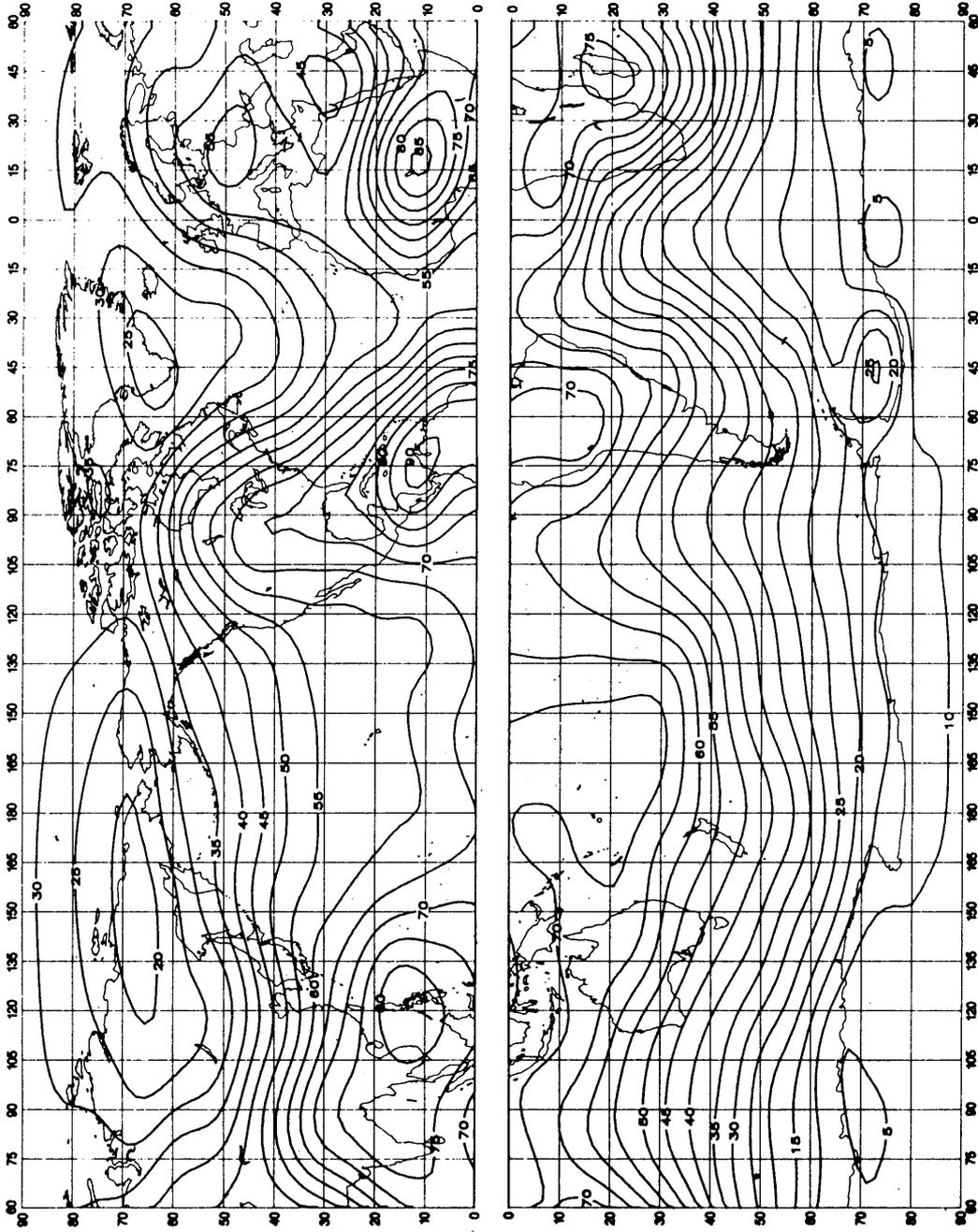


FIGURA 28a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{fm} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Verano; 0400-0800 hora local)

D44-9c

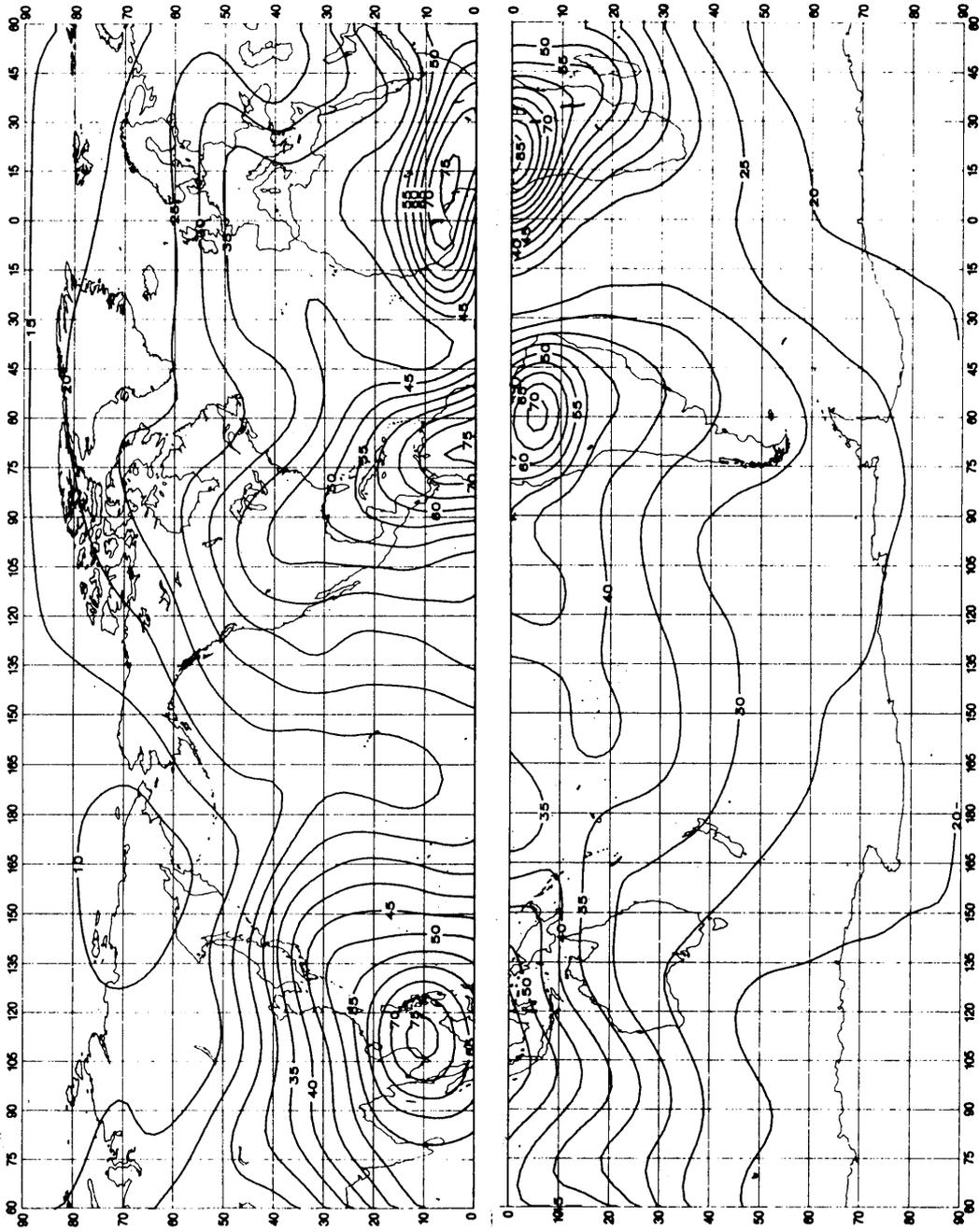


FIGURA 35a - Valores probables del ruido atmosférico, F_{fm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Otoño; 0800-1200 hora local)

DSS-sc

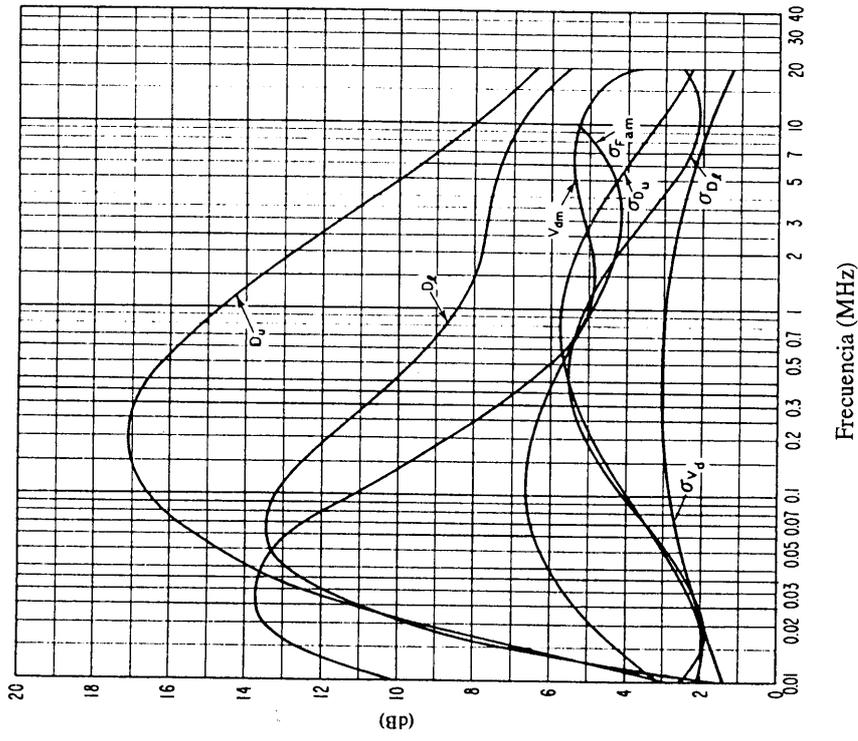


FIGURA 35c -- Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Otoño; 0800-1200 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

Véase la leyenda de la fig. 15b

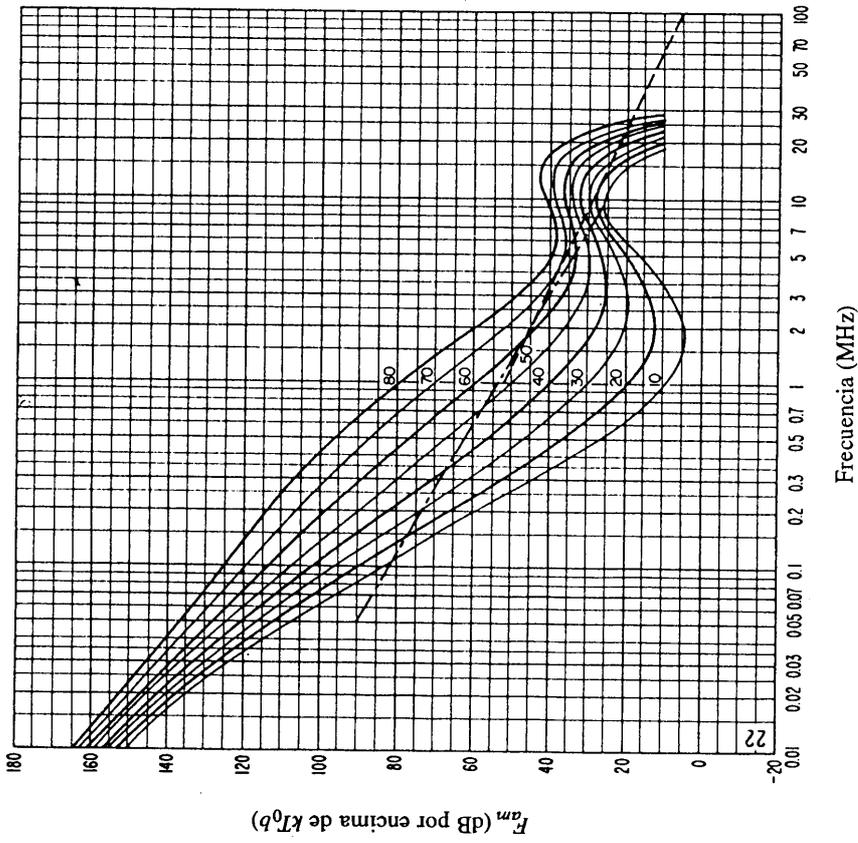


FIGURA 35b -- Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Otoño; 0800-1200 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

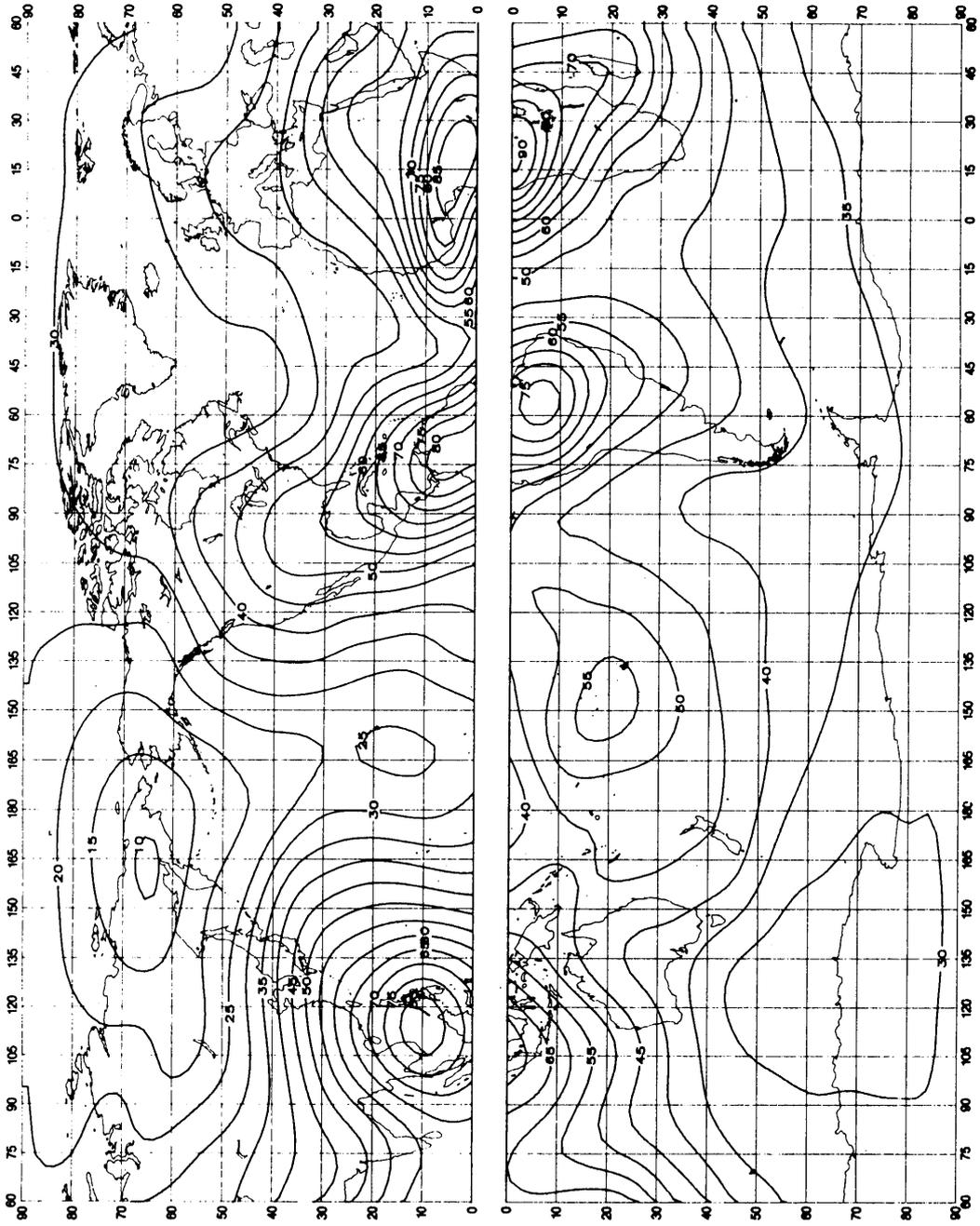


FIGURA 36a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{fm} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Otoño; 1200-1600 hora local)

D(0)-sc

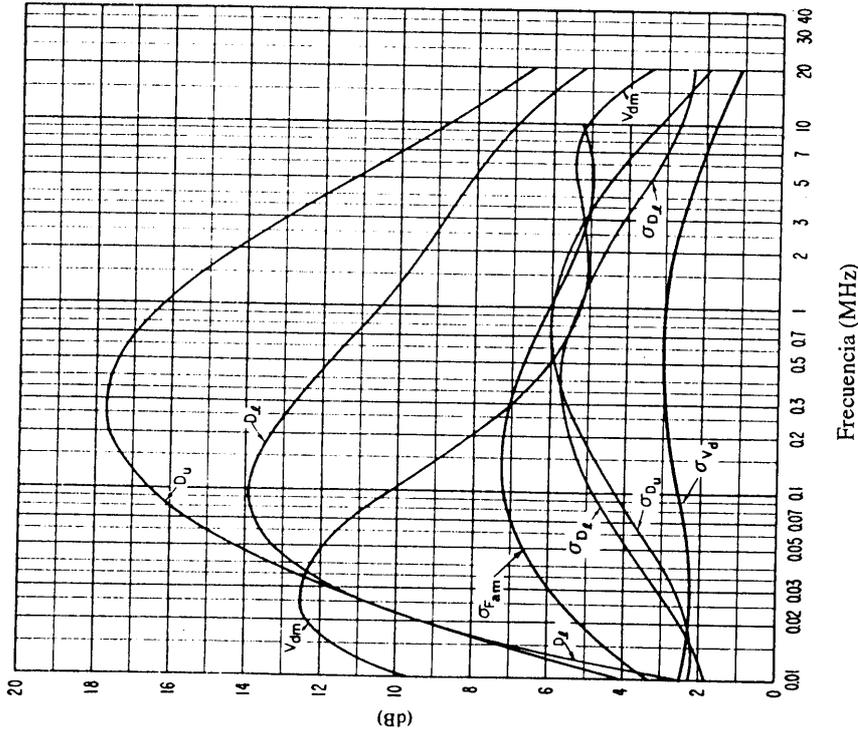


FIGURA 36c -- Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Otoño; 1200-1600 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

0372-36b

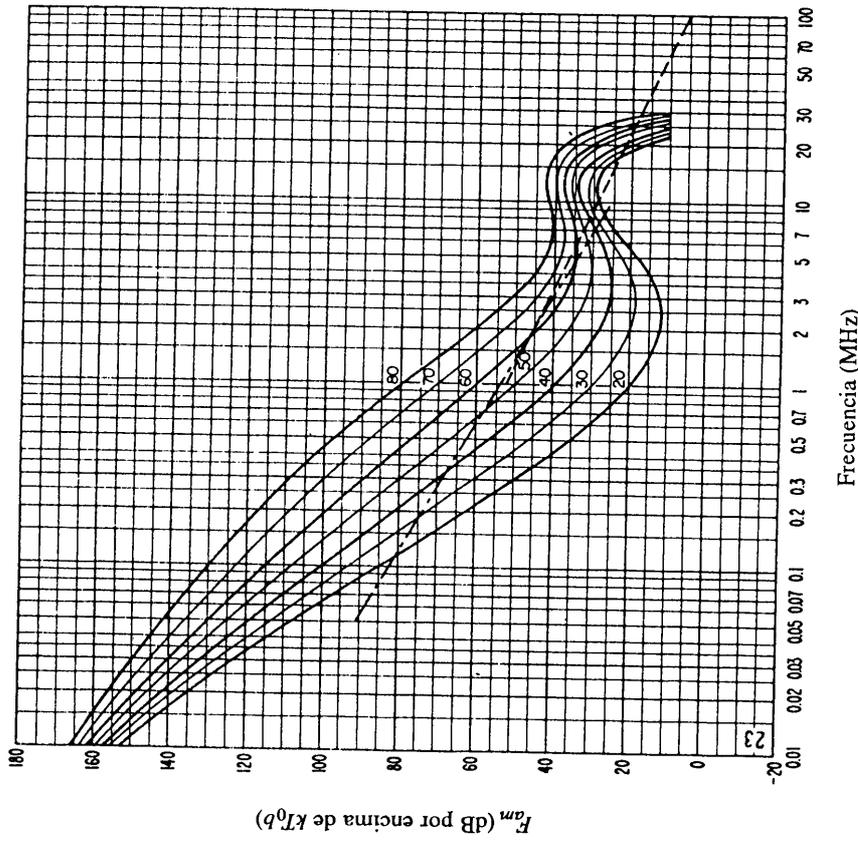


FIGURA 36b -- Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Otoño; 1200-1600 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

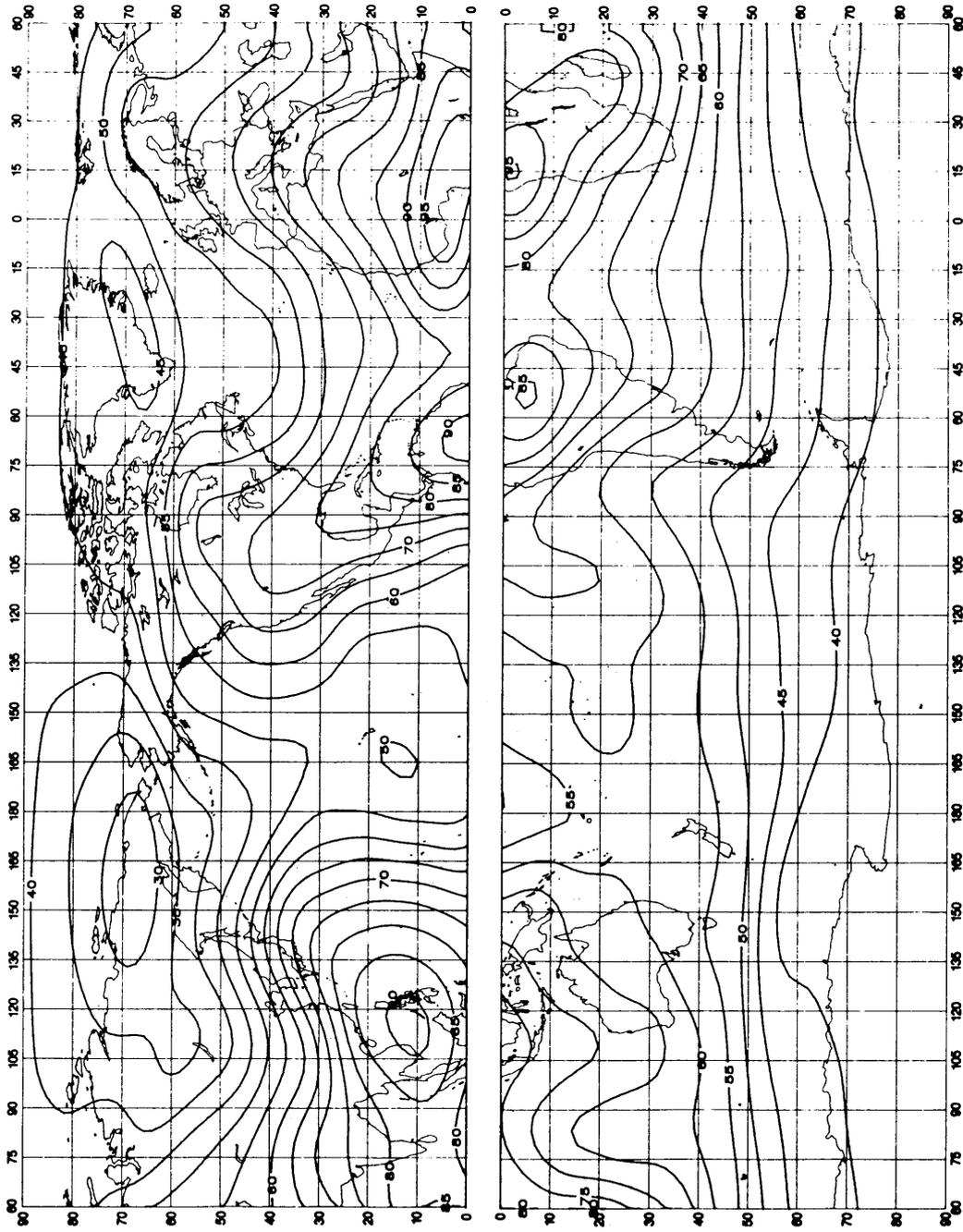


FIGURA 37a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_0b en 1 MHz (Otoño; 1600-2000 hora local)

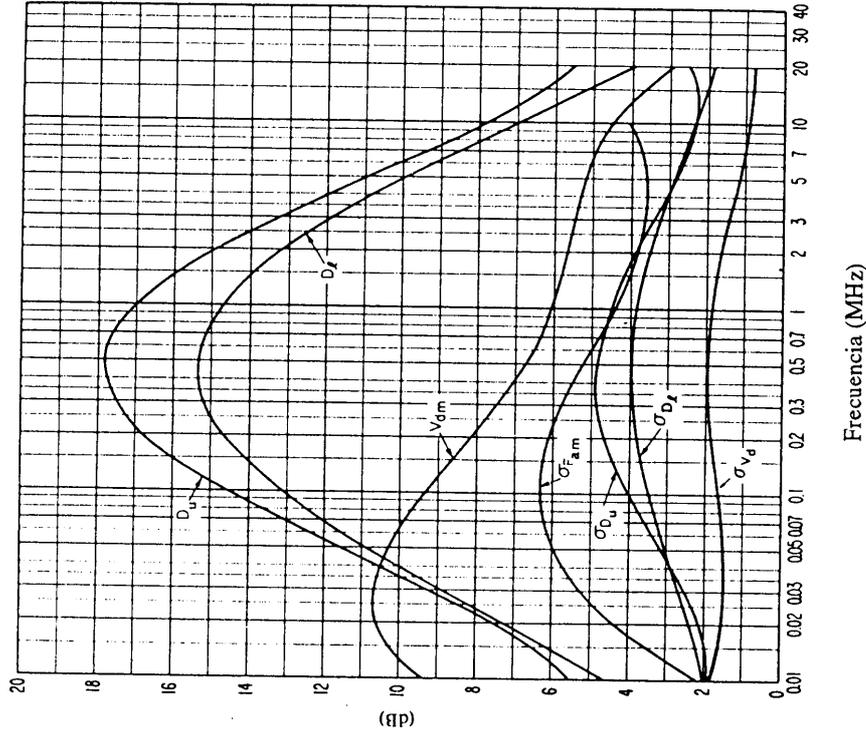


FIGURA 37c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido
(Otoño; 1600-2000 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

D63-sc

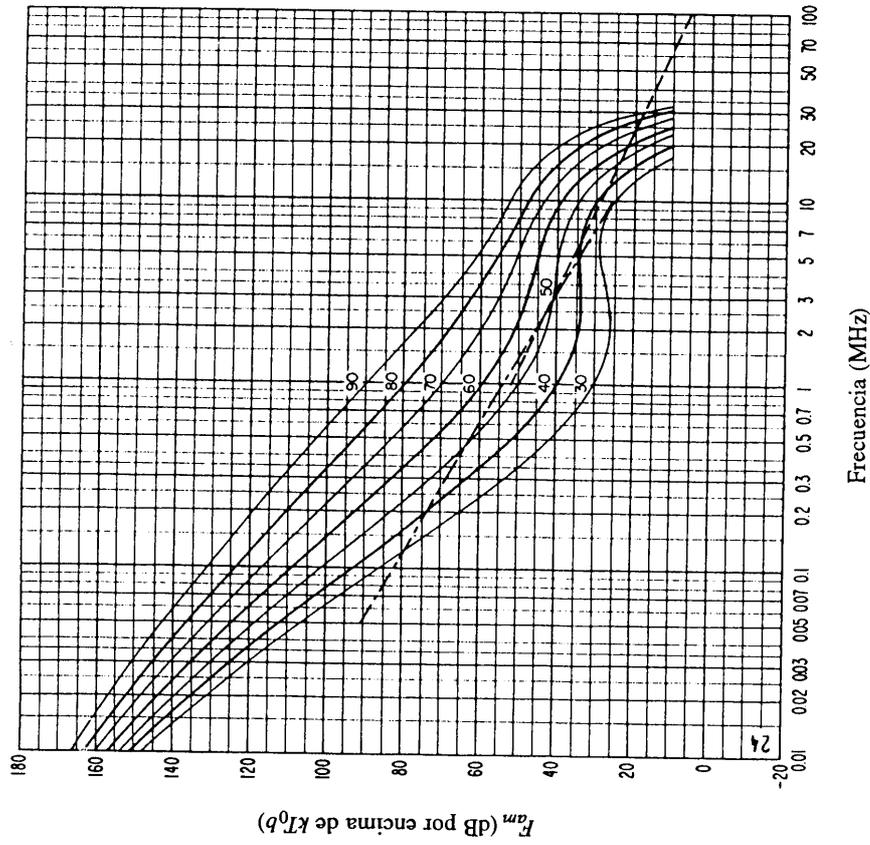


FIGURA 37b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia
(Otoño; 1600-2000 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

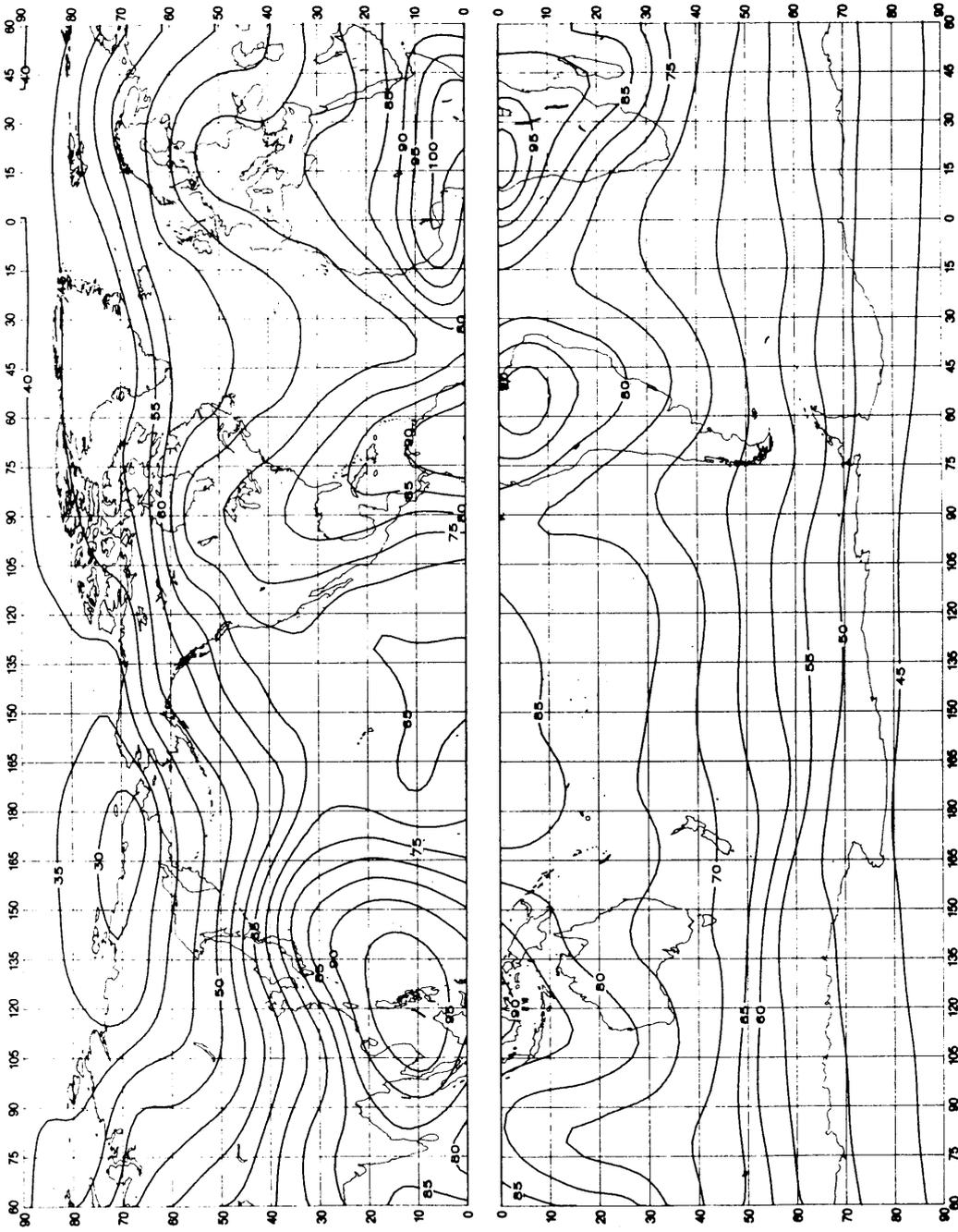


FIGURA 38a – Valores probables del ruido atmosférico, F_{am} , en dB por encima de kT_{0b} en 1 MHz (Otono; 2000-2400 hora local)

D64-sc

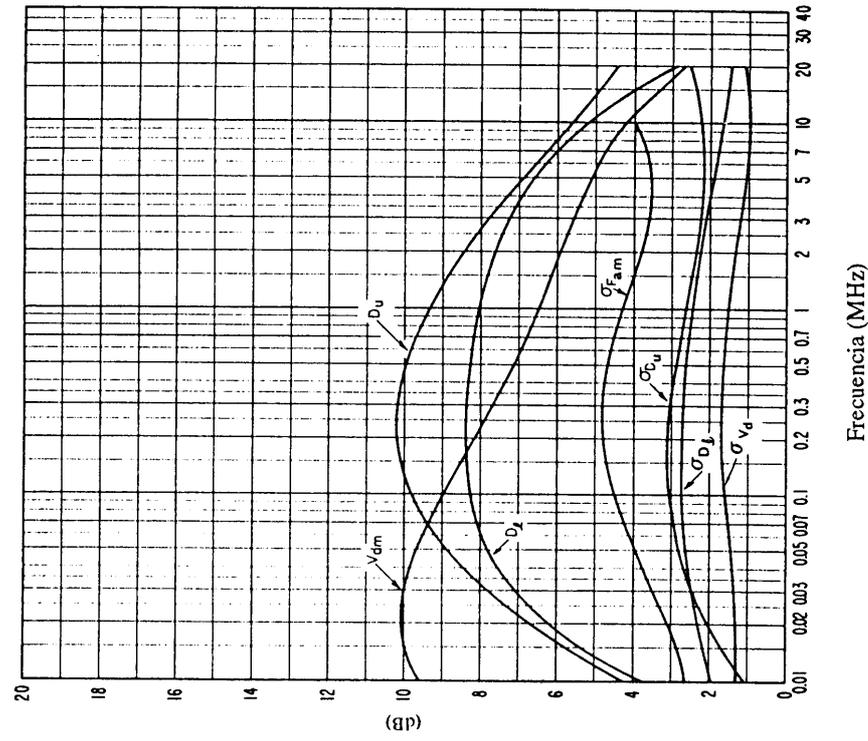


FIGURA 38c – Datos sobre la variabilidad y el carácter del ruido (Otoño; 2000-2400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15c

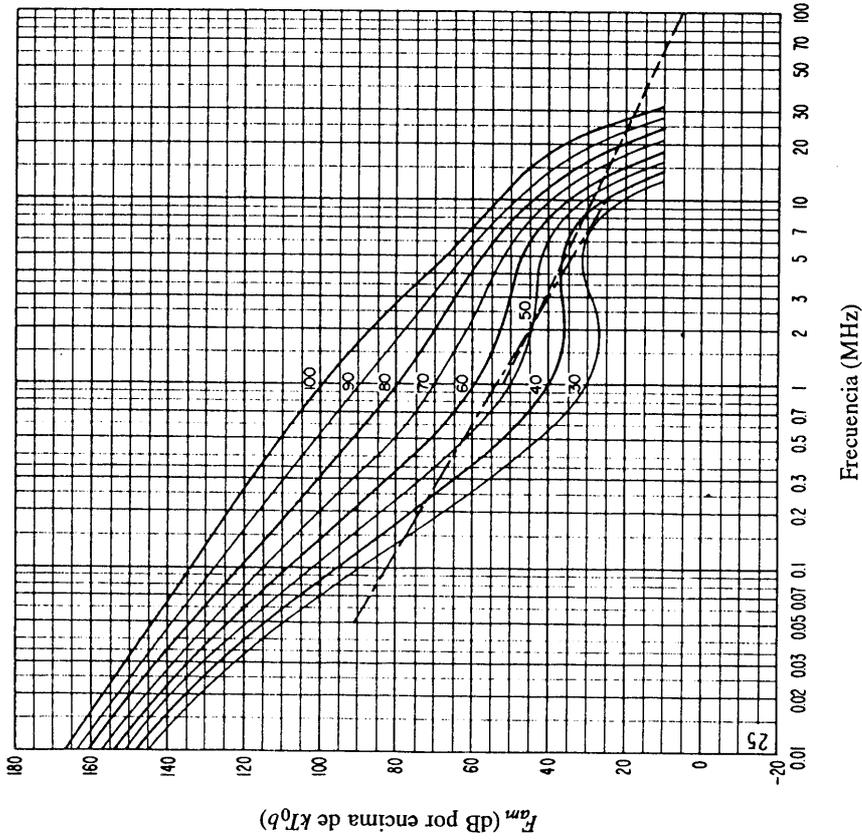


FIGURA 38b – Variaciones del ruido radioeléctrico con la frecuencia (Otoño; 2000-2400 hora local)

Véase la leyenda de la fig. 15b

FIGURA 39
 Distribuciones de la probabilidad de amplitud (DPA) del ruido radioeléctrico atmosférico para diversos valores de V_d

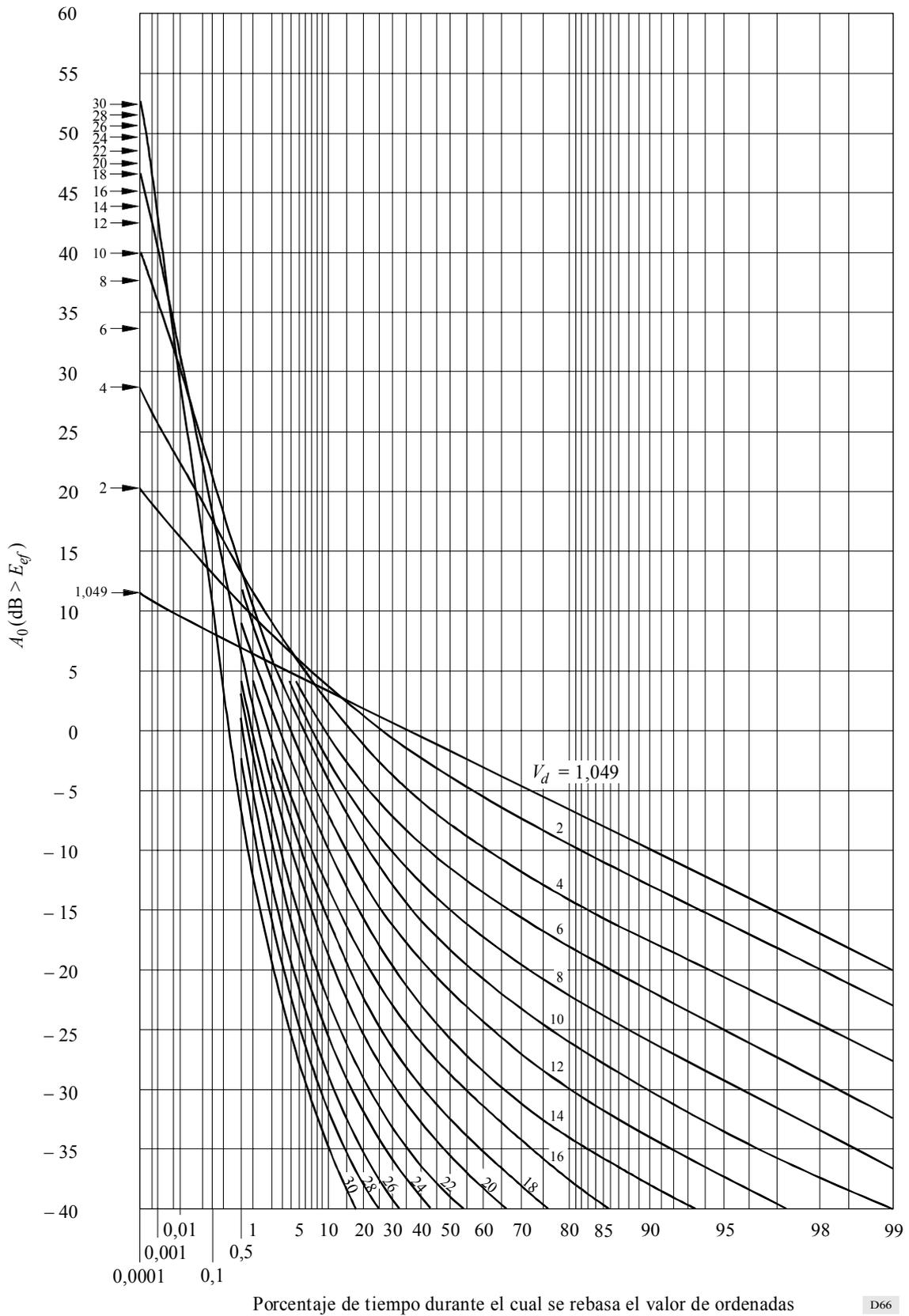


FIGURA 40

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

