

RECOMENDACIÓN UIT-R P.840-3

ATENUACIÓN DEBIDA A LAS NUBES Y A LA NIEBLA

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que es necesario dar pautas a los ingenieros para el diseño de los sistemas de telecomunicación Tierra-espacio en frecuencias superiores a 10 GHz;

b) que la atenuación debida a las nubes puede ser un factor importante, especialmente para los sistemas de microondas que funcionan en frecuencias muy superiores a 10 GHz o para los sistemas de baja disponibilidad,

recomienda

1 que se utilicen las curvas, los modelos y los mapas del Anexo 1 para el cálculo de la atenuación debida a las nubes y a la niebla.

ANEXO 1

1 Introducción

Para las nubes y la niebla compuestas totalmente de gotas minúsculas, generalmente inferiores a 0,01 cm, la aproximación de Rayleigh es válida para frecuencias inferiores a 200 GHz y se puede expresar la atenuación en términos del contenido total de agua líquida por unidad de volumen. Así pues, la atenuación específica en el interior de una nube o de la niebla puede expresarse como:

$$\gamma_c = K_l M \quad \text{dB/km} \quad (1)$$

siendo:

γ_c : atenuación específica (dB/km) en la nube

K_l : coeficiente de la atenuación específica ((dB/km)/(g/m³))

M : densidad de agua líquida en la nube o la niebla (g/m³).

En frecuencias del orden de 100 GHz y superiores, la atenuación debida a la niebla puede ser significativa. La densidad de agua líquida en la niebla es típicamente de unos 0,05 g/m³ en la niebla moderada (visibilidad del orden de 300 m) y de 0,5 g/m³ en niebla espesa (visibilidad del orden de 50 m).

2 Coeficiente de atenuación específica

Para calcular el valor de K_l se puede utilizar un modelo matemático válido hasta frecuencias de 1 000 GHz basado en la dispersión de Rayleigh, que utiliza un modelo Debye doble para la permitividad dieléctrica $\epsilon(f)$ del agua. Por tanto:

$$K_l = \frac{0,819f}{\epsilon''(1 + \eta^2)} \quad \text{(dB/km)/(g/m}^3\text{)} \quad (2)$$

donde f es la frecuencia (GHz), y:

$$\eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''} \quad (3)$$

La permitividad dieléctrica compleja del agua viene dada por:

$$\varepsilon''(f) = \frac{f(\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}{f_p \left[1 + (f/f_p)^2 \right]} + \frac{f(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{f_s \left[1 + (f/f_s)^2 \right]} \quad (4)$$

$$\varepsilon'(f) = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{\left[1 + (f/f_p)^2 \right]} + \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\left[1 + (f/f_s)^2 \right]} + \varepsilon_2 \quad (5)$$

donde:

$$\varepsilon_0 = 77,6 + 103,3 (\theta - 1) \quad (6)$$

$$\varepsilon_1 = 5,48 \quad (7)$$

$$\varepsilon_2 = 3,51 \quad (8)$$

$$\theta = 300 / T \quad (9)$$

siendo T la temperatura (K).

Las frecuencias de relajación principal y secundaria son:

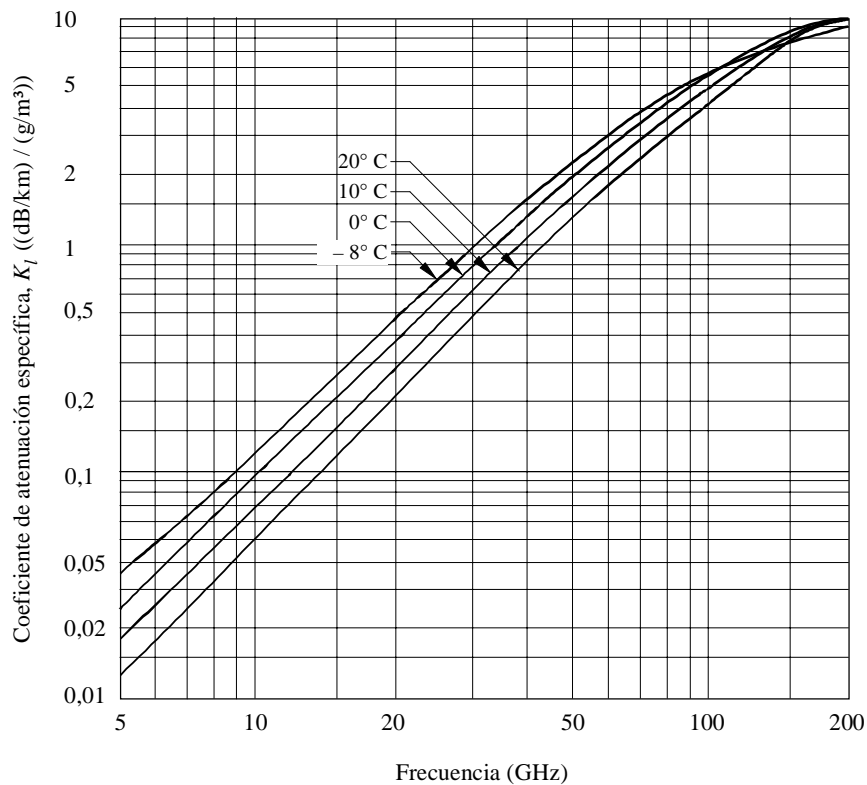
$$f_p = 20,09 - 142 (\theta - 1) + 294 (\theta - 1)^2 \quad \text{GHz} \quad (10)$$

$$f_s = 590 - 1500 (\theta - 1) \quad \text{GHz} \quad (11)$$

La Fig. 1 muestra los valores de K_l en frecuencias entre 5 y 200 GHz y temperaturas entre -8°C y 20°C . Para atenuaciones debidas a las nubes, se ha de utilizar la curva correspondiente a 0°C .

FIGURA 1

Atenuación específica de las pequeñas gotas de agua a diversas temperaturas en función de la frecuencia



3 Atenuación debida a las nubes

Para obtener la atenuación debida a las nubes para un valor de probabilidad determinado, deben conocerse las estadísticas del contenido de la columna total de agua líquida L (kg/m^2) o, de forma equivalente, milímetros de agua precipitable para un emplazamiento determinado, lo que da:

$$A = \frac{L K_l}{\sin \theta} \quad \text{dB} \quad \text{para } 90^\circ \geq \theta \geq 5^\circ \quad (12)$$

siendo θ el ángulo de elevación y K_l el que se obtiene de la Fig. 1. Obsérvese que K_l es idéntico al coeficiente de absorción de masa, a_L , introducido en la ecuación (1) de la Recomendación UIT-R P.836.

Las estadísticas del contenido de la columna total de agua líquida pueden obtenerse a partir de las mediciones radiométricas o mediante lanzamientos de radiosondas.

A falta de mediciones locales, deben utilizarse los valores del contenido de la columna total de agua líquida de nube (normalizado a 0°C), que se indican en las Figs. 2 a 5 para obtener la atenuación debida a las nubes.

Los valores de las Figuras se dan en kg/m^2 para cuatro niveles distintos de probabilidad de rebasamiento anual. Los mapas se han obtenido a partir de los datos recopilados durante dos años con una resolución espacial de $1,5^\circ$ en latitud y longitud. Los ficheros de datos que contienen los mismos así como los datos para los niveles de probabilidad adicionales, pueden obtenerse en la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT. La cuadrícula de latitudes de los ficheros de datos va de $+90^\circ \text{N}$ a -90°S en pasos de $1,5^\circ$; la cuadrícula de longitud va de 0° a 360° en pasos de $1,5^\circ$.

Para un emplazamiento distinto de los puntos de la cuadrícula, se obtiene el contenido de la columna total en el emplazamiento deseado mediante interpolación bilineal de los valores en los cuatro puntos de la cuadrícula más próximos.

A fin de obtener el valor rebasado para una probabilidad distinta de la que aparece en los ficheros de datos, se utiliza una interpolación semilogarítmica (logarítmica sobre la probabilidad en porcentaje y lineal sobre el contenido de la columna total).

FIGURA 2
Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m²) rebasado durante el 20% del año

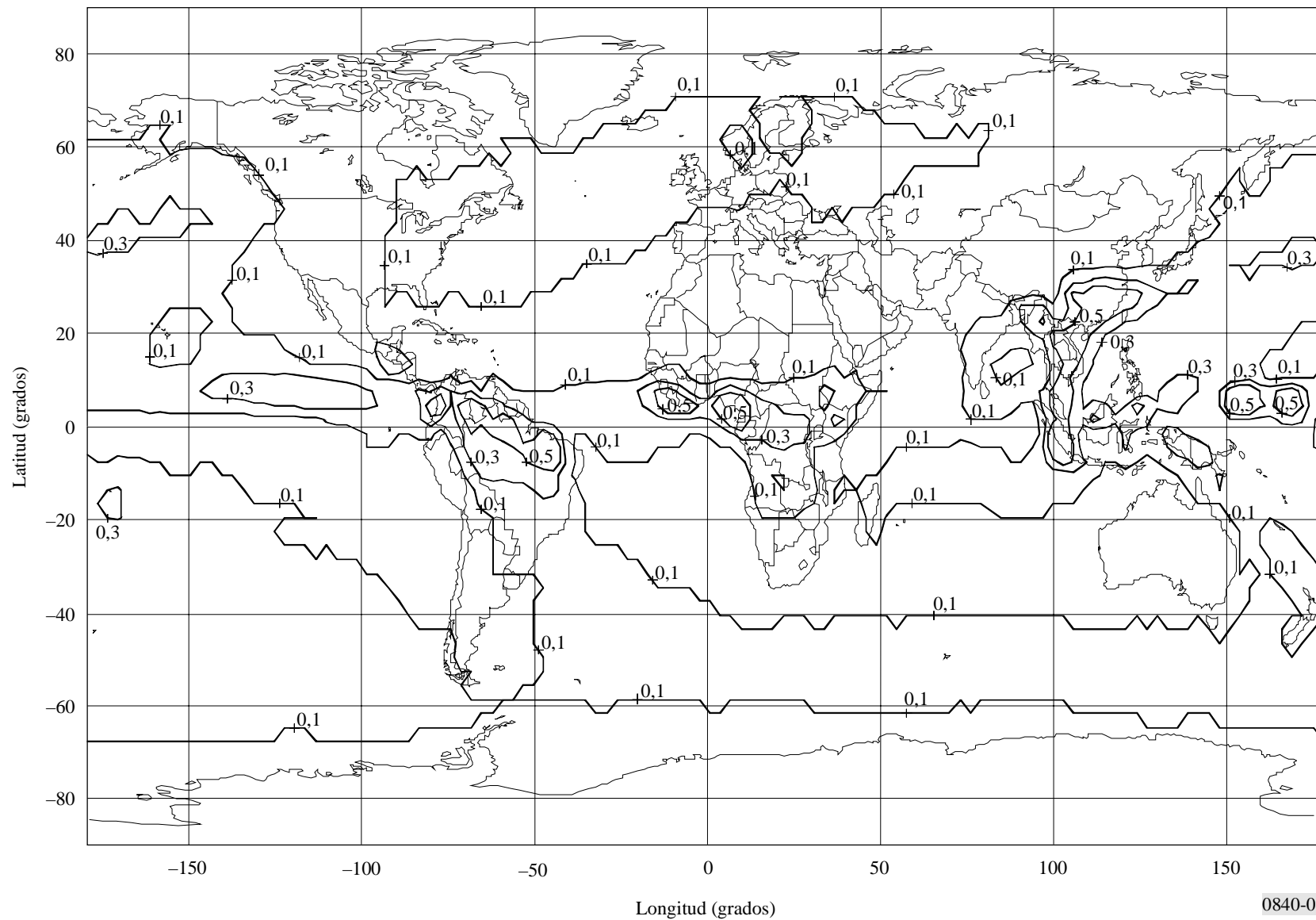


FIGURA 3

Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m^2) rebasado durante el 10% del año

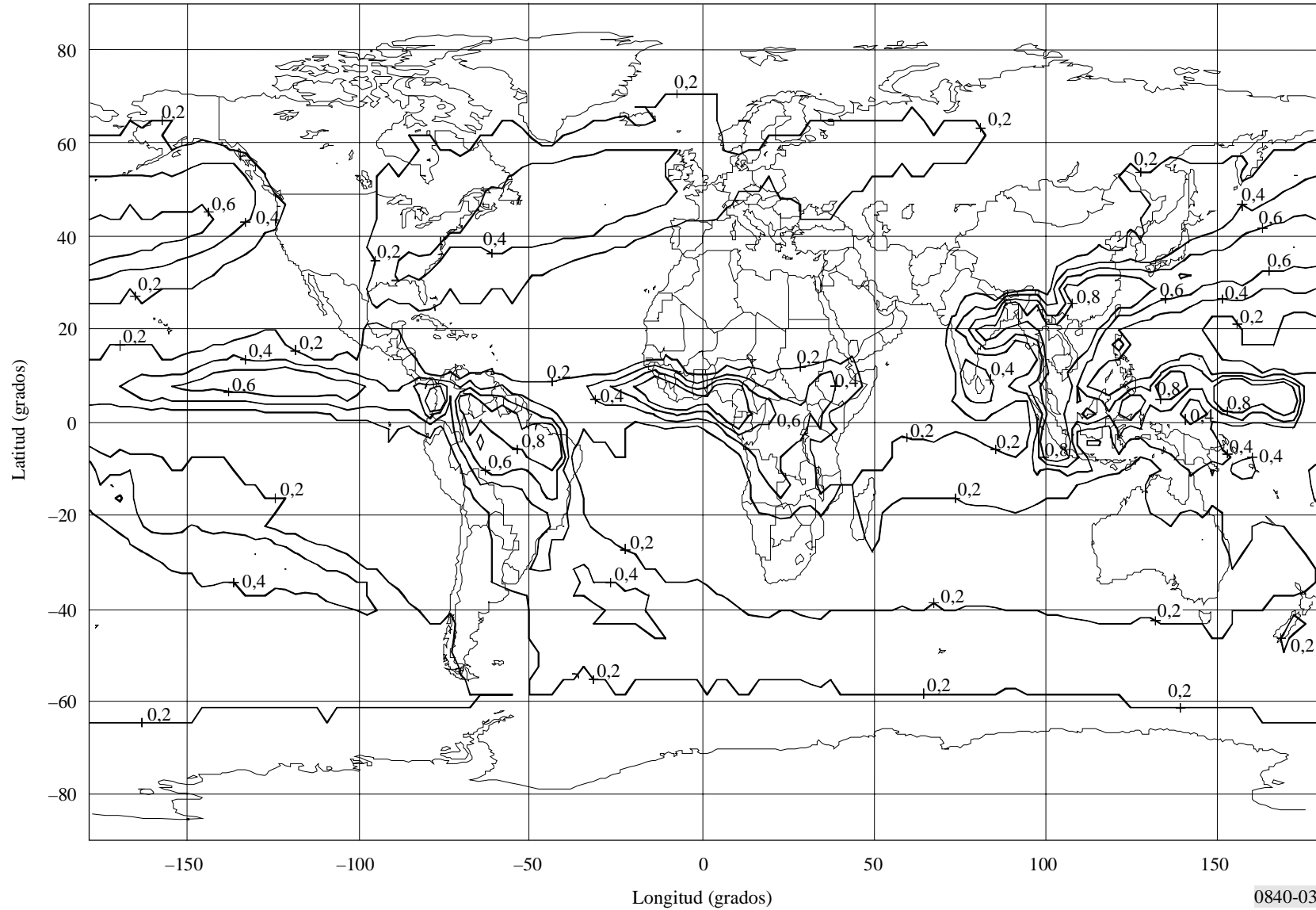


FIGURA 4
Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m²) rebasado durante el 5% del año

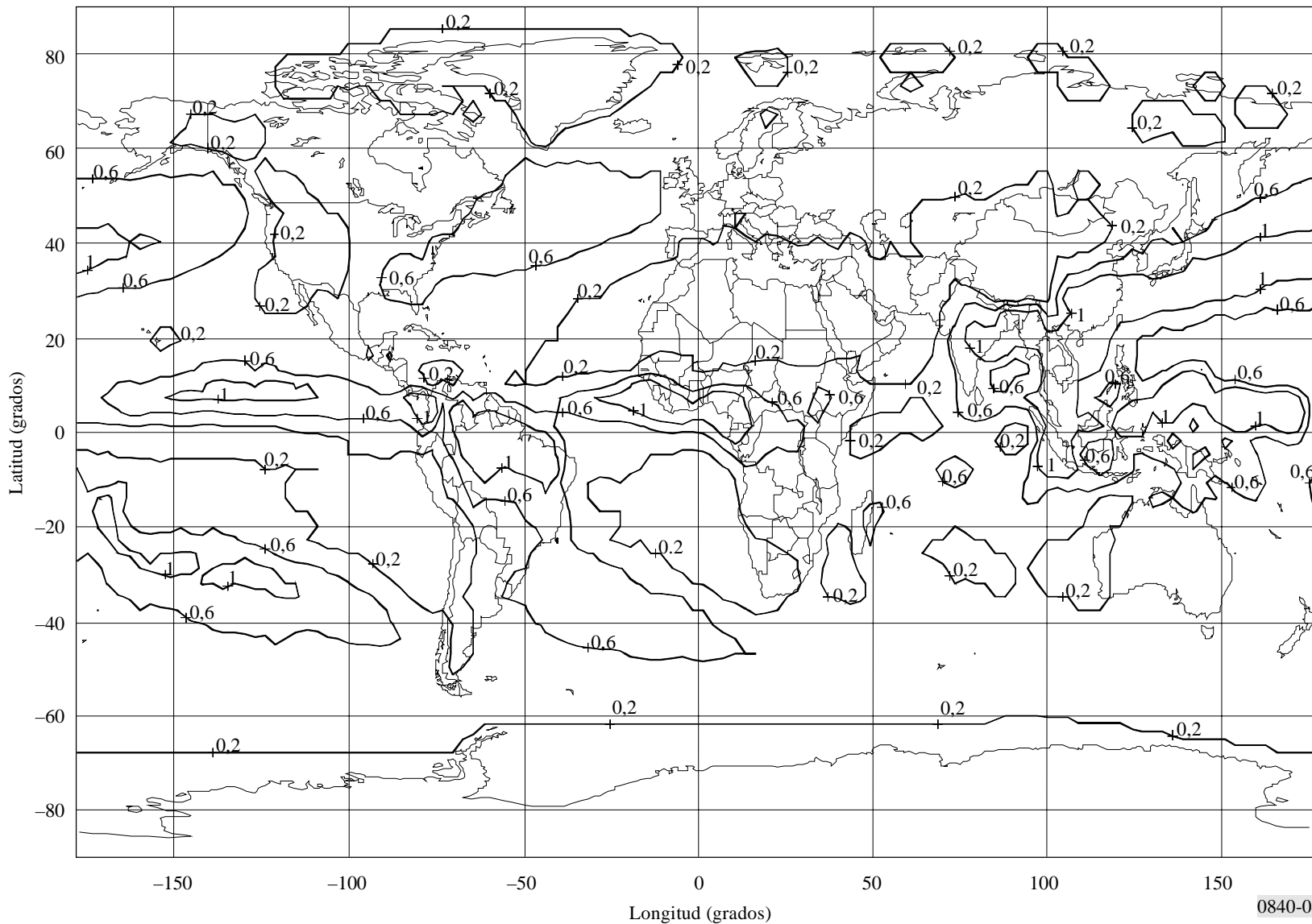
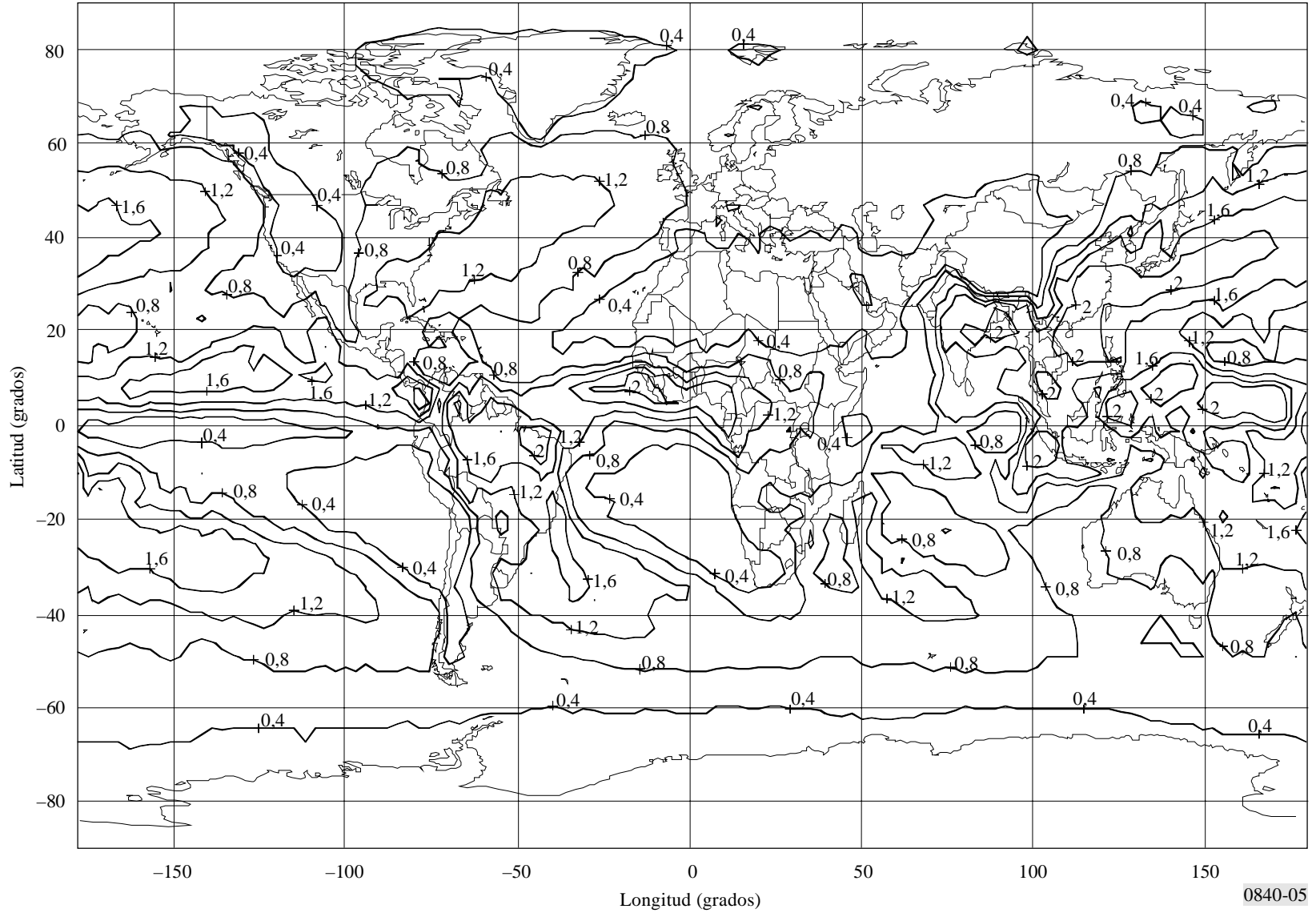


FIGURA 5

Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m^2) rebasado durante el 1% del año



Rec. UIT-R P.840-3

0840-05