

RECOMENDACIÓN UIT-R P.840-2

ATENUACIÓN DEBIDA A LAS NUBES Y A LA NIEBLA

(Cuestión UIT-R 201/3)

(1992-1994-1997)

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).

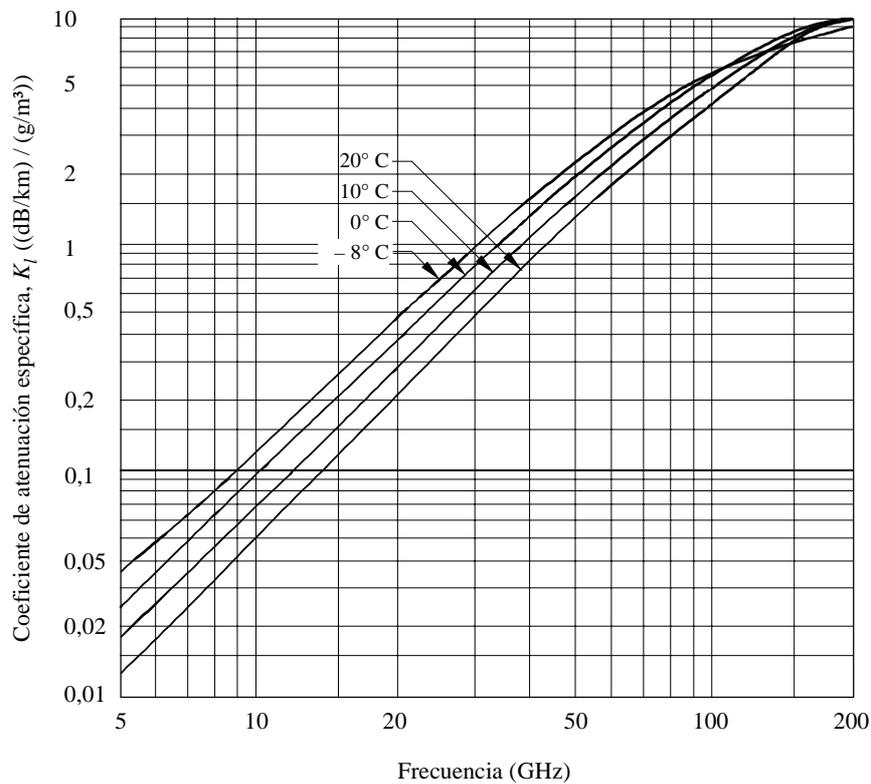
Las frecuencias de relajación principal y secundaria son:

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

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

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:

$$A = \frac{L K_l}{\text{sen } \theta} \quad \text{dB} \quad (12)$$

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 diferentes de probabilidad de rebasamiento anual (80%, 90%, 95% y 99%). Los mapas se han realizado a partir de los datos de dos años con una resolución espacial de $1,5^\circ$ en latitud y longitud. Los ficheros que contienen estos datos pueden obtenerse en la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT (BR).

FIGURA 2
Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m^2) rebasado durante el 80% del año

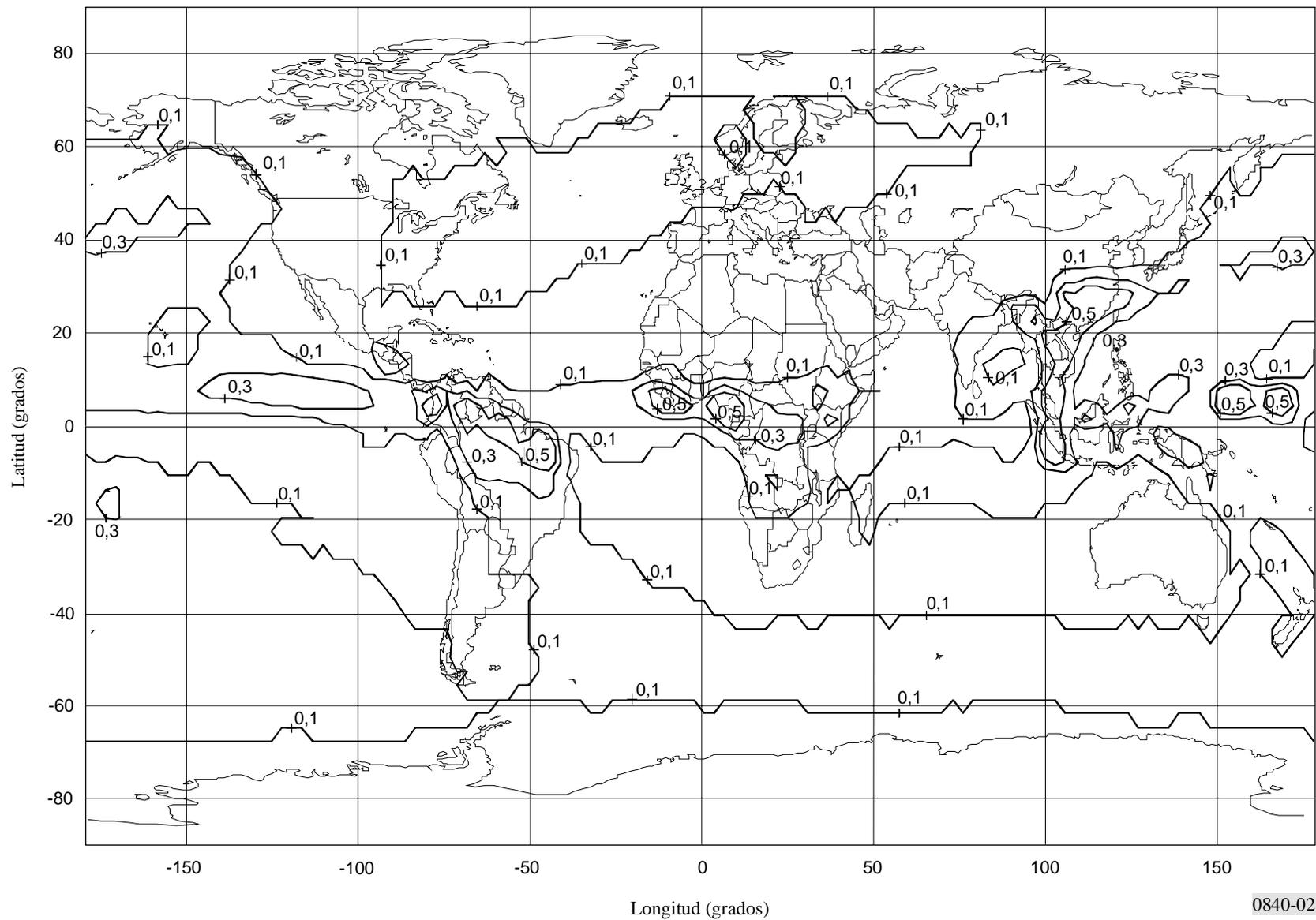
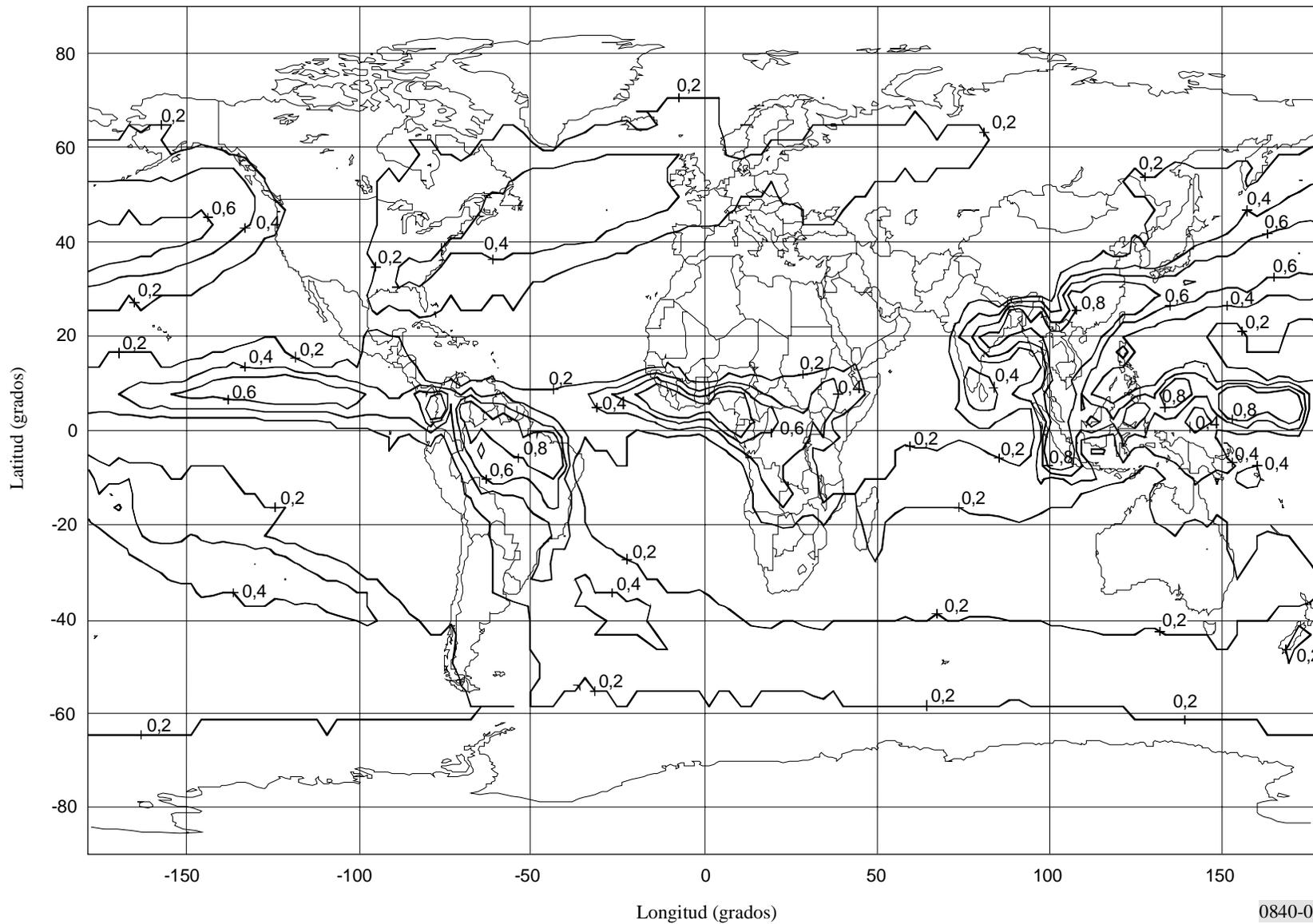


FIGURA 3

Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m²) rebasado durante el 90% del año



Rec. UIT-R P.840-2

0840-03

FIGURA 4
Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m²) rebasado durante el 95% del año

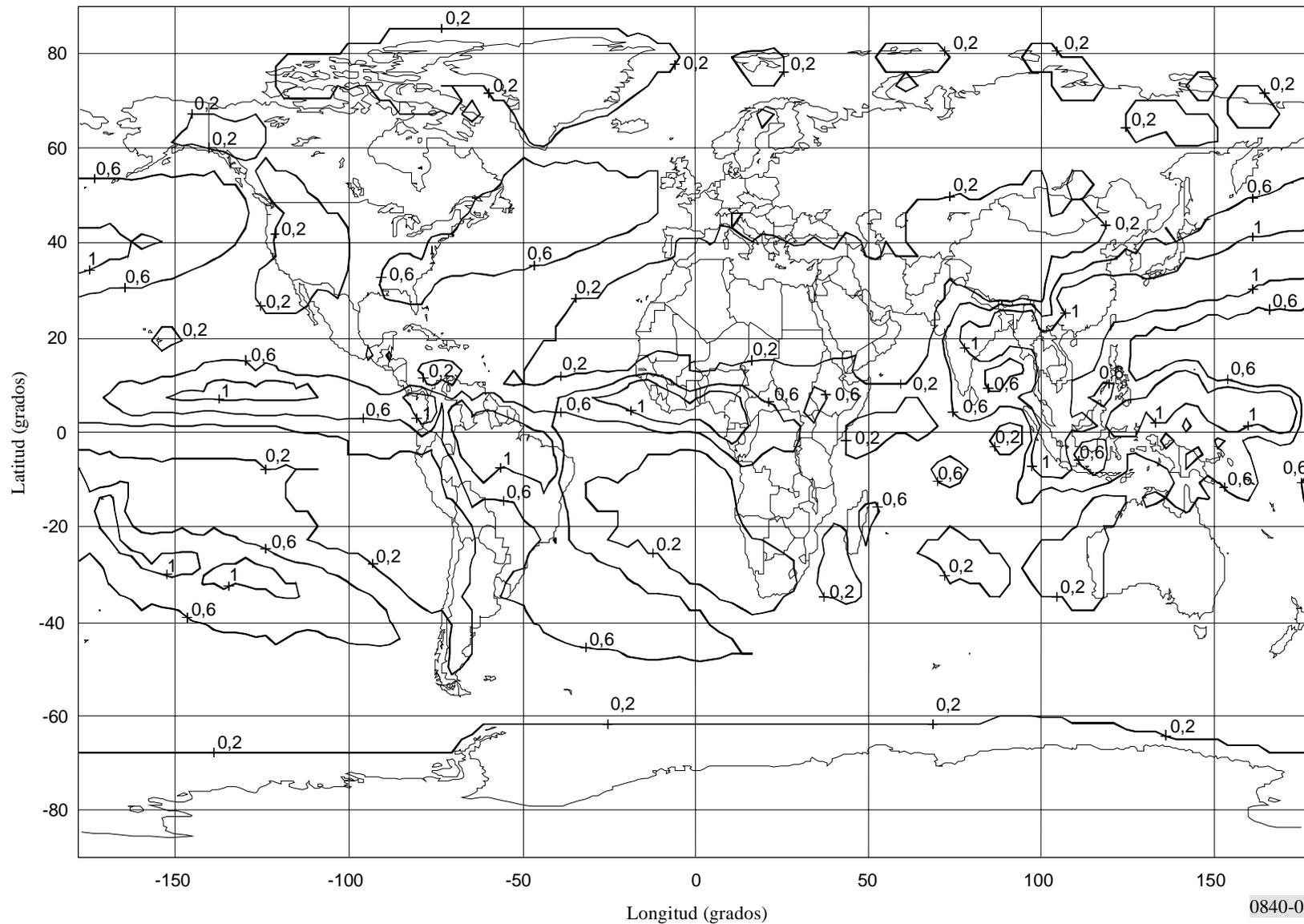


FIGURA 5

Contenido total normalizado de la columna de agua líquida de nube (kg/m²) rebasado durante el 99% del año

