

RADIO CONTINUUM OBSERVATIONS OF THE GUM NEBULA

J.C. Testori, F.R. Colomb

Instituto Argentino de Radioastronomía

RESUMEN: La nebulosa de "Gum", con un diámetro de más de  $36^\circ$  y delineada por filamentos  $H\alpha$ , es una de las estructuras más extensas del cielo. Dentro de la misma región se encuentran interesantes zonas de estudio como Vela, Puppis y RCW 38. Por tal motivo se decidió obtener un mapa de alta sensibilidad de la extensa región en la frecuencia de radio de 1435 MHz. Para el mismo, se desarrolló un método de reducción y tratamiento de los datos que permitió CALIBRAR ABSOLUTAMENTE las observaciones y de esta forma obtener la distribución del índice espectral ( $T_b = f^{-\beta}$ ), comparando nuestras observaciones con las observaciones en 408 MHz realizadas por Haslam et al. (1982).

ABSTRACT: The GUM nebula, with a diameter of  $36^\circ$  and surrounded by  $H\alpha$  filaments, is one of the more extended features on the sky. Within that region several interesting objects as Vela, Puppis and RCW 38, are founded. For this reason we decided to map this extended region with high sensitivity at the frequency of 1435 MHz. A reduction method was developed that allowed to CALIBRATE ABSOLUTELY the observations and to obtain the Spectral Index ( $T_b = f^{-\beta}$ ), comparing our observations with those obtained by Haslam et al. (1982).

Las observaciones fueron realizadas con el receptor polarimétrico instalado en la Antena II del Instituto Argentino de Radioastronomía. El radiómetro está formado por dos receptores independientes en banda L. La banda de paso es acotada mediante un filtro interdigital de 60 MHz de ancho de banda (1390-1450 MHz). Mediante un mezclador doble balanceado se realiza la conversión a FI de la señal recibida con una frecuencia central de 1435 MHz.

Las dos señales de FI de 115 MHz en el procesador analógico del polarímetro. Este suministra 4 canales de información analógica, que consisten en dos canales de potencia integrada y dos canales de correlación proporcionales a los parámetros de Stokes. Las señales son digitalizadas y preprocesadas por una microcomputadora Commodore 64 que adquiere simultáneamente la posición de antena y controla los ciclos de conmutación de calibración y de fase del polarímetro.

Los datos son enviados luego a una microcomputadora IBM PC que se encarga de tabular los mismos a valores de ascensión recta y declinación con valores predeterminados utilizando para la interpolación una función sinc definida para un haz de antena de 35 minutos de arco. El intervalo tabular es igual a 0.25 grados en ambas coordenadas.

Las observaciones se realizaron por el método de NOD-SCAN, que consiste en mover la antena en declinación con una velocidad de 10 grados por minuto, manteniendo la antena fija en ascensión recta y en el meridiano, y utilizando la rotación de la tierra para barrer en esa coordenada.

Los barridos se realizaron continuamente hacia el norte (up scan) y hacia el sur (down scan) entre las

declinaciones:  $-90.0 < \delta < -10.25$ .

Cada día de observación comienza un minuto más tarde en tiempo sidéreo.

Las ventajas de este método de observación son:

a) en la figura 1 se puede ver que cada "up scan" intercepta en días sucesivos a 15 "down scans" y viceversa. Estos puntos de intersección servirán para corregir la línea de base de todos los barridos.

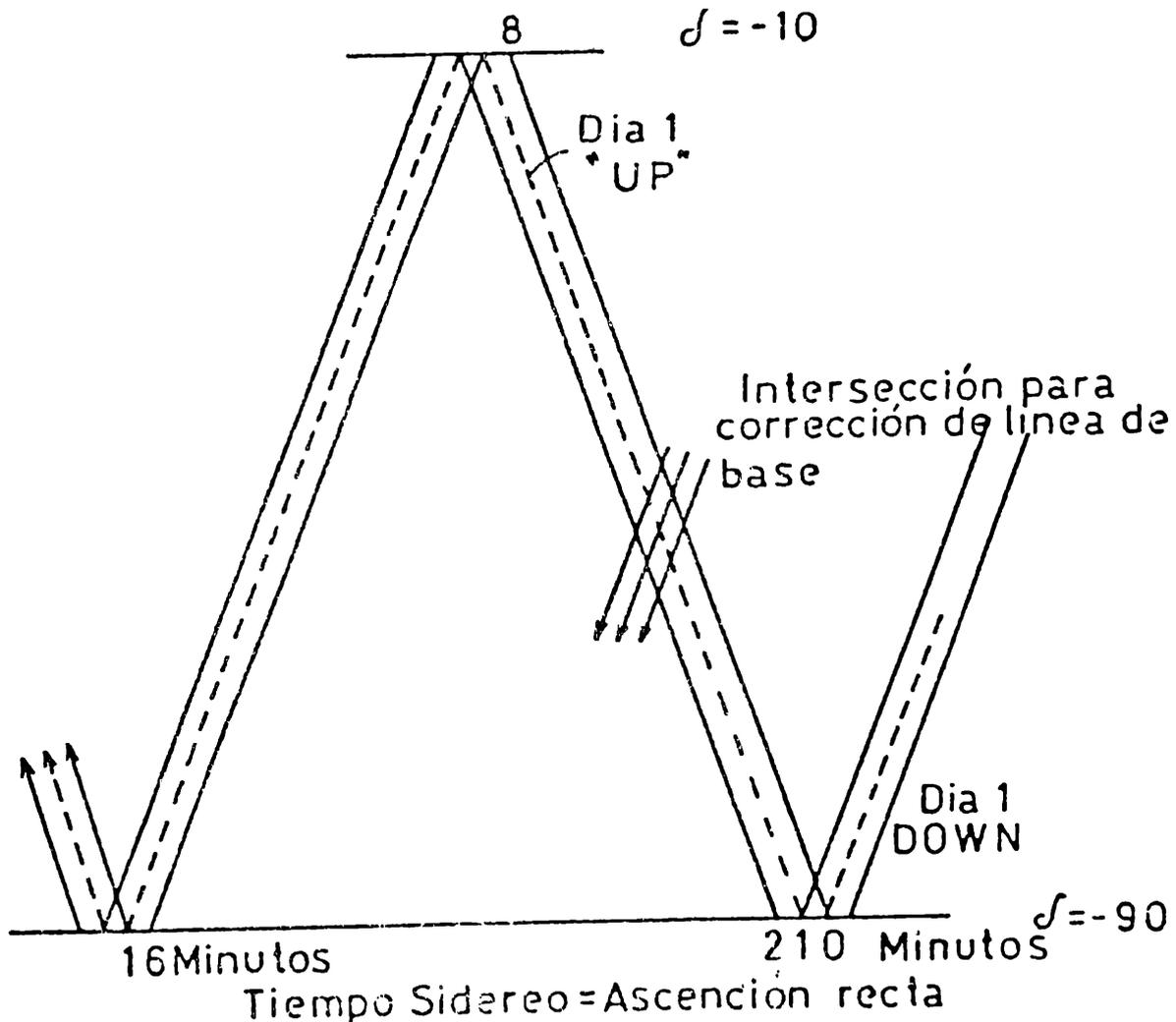


Figura 1: Representación esquemática del método de observación NOD-Scan

b) debido a que las observaciones se realizaron en el meridiano, la contribución de tierra (spillover) es la misma para todos los barridos y más fácil de corregir.

Las observaciones cubren el rango de ascensión recta 7h 11m a 10h 06m. Cada ascensión recta fue

observada cada  $0^{\circ}.25$ . Se realizaron más de 600 barridos y un total de 768.000 fueron procesados.

Las radiofuentes Hydra A con 42.5 Jy y Pictor A con 60.8 Jy fueron utilizadas como calibradoras primarias.

## REDUCCION

Cada barrido fue tratado individualmente, para eliminar interferencias y descartar aquellos con problemas de inestabilidad.

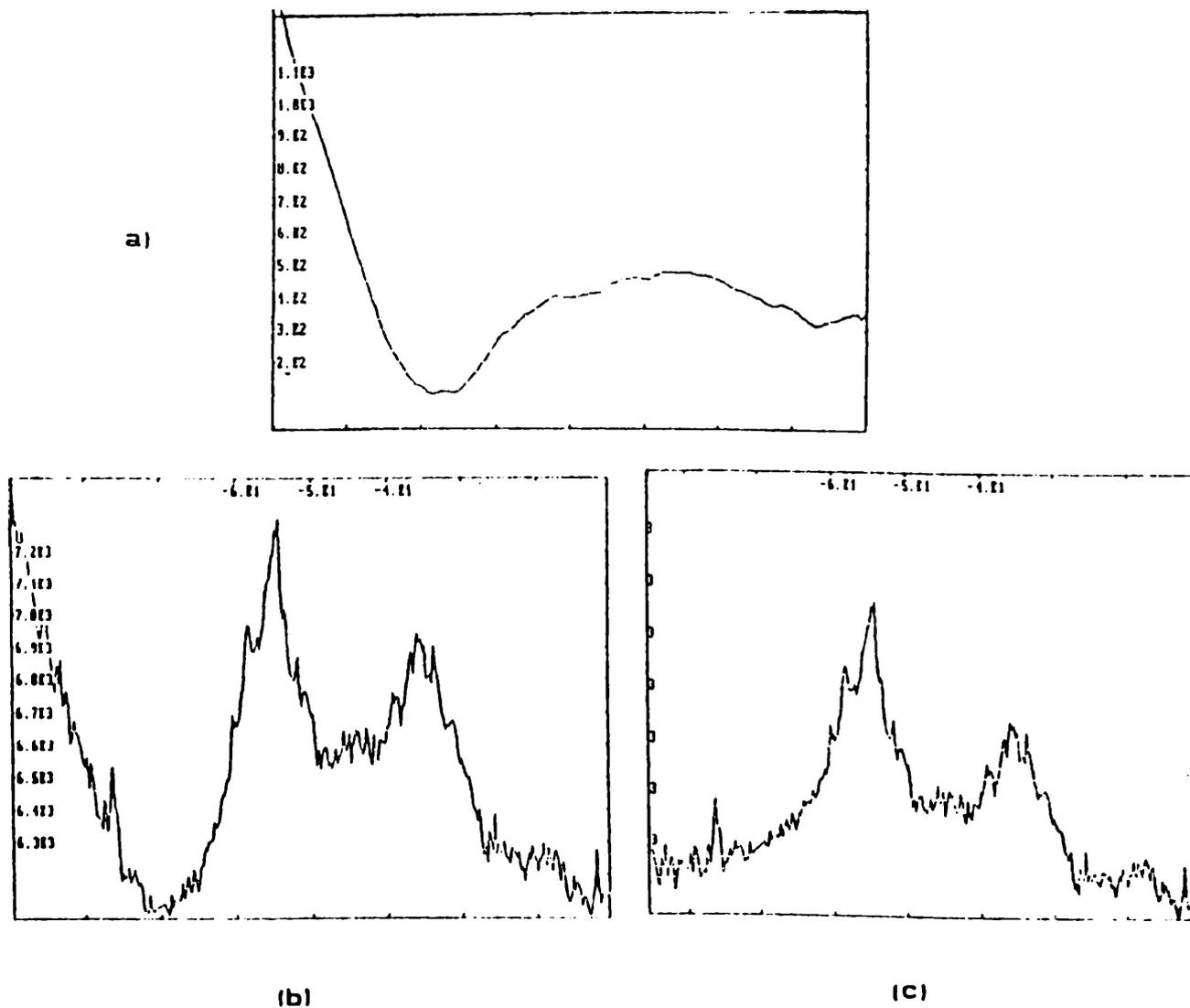


Figura 2: a) Barrido medio de radiación de tierra, b) Barrido original, c) Barrido luego de la resta de la contribución de tierra

Luego de promediarlos, se le restó un barrido medio de la radiación de tierra (figura 2a). Este barrido se obtuvo de promediar más de 600 barridos de una zona "fría" del cielo ( $3h\ 00m < \alpha < 6h00m$ ), y luego de "alisarlo" con una función Hanning. En la figura 2b se muestra un barrido original, y el mismo después de restarle esta contribución en la figura 2c.

## METODO ITERATIVO PARA LA OPTIMIZACION DE LA LINEA DE BASE

Debido al modo de observación, todos los barridos tienen al principio o al final un punto en común, que es el Polo Sur Celeste. Además cada uno es cortado por otros 15.

La optimización de la línea de base es un proceso iterativo y es realizado barrido por barrido, primero para todos los "up scan" y luego para los "down scan".

Primero se encuentran los puntos de intersección de cada "up scan" con todos los "down scans". A las diferencias de amplitud se les ajusta por mínimos cuadrados una recta para ir minimizando estos errores, y se corrige cada barrido con los valores obtenidos por el ajuste.

La figura 3a muestra una representación esquemática. Si las diferencias de temperatura  $\Delta T_i(\alpha, \delta)$  entre el barrido a corregir cuya temperatura es  $T_i(\alpha, \delta)$  y la de los barridos que lo cortan cuya temperatura es  $T_j(\alpha, \delta)$ , ajustando por mínimos cuadrados una recta a estas diferencias, tendremos nuevas diferencias  $\Delta T(\alpha, \delta)$ . Las nuevas temperaturas corregidas serán:  $T_c(\alpha, \delta) = T_i(\alpha, \delta) - \overline{\Delta T_i(\alpha, \delta)}$ .

Este proceso se va realizando en forma iterativa hasta que las diferencias sean mínimas. En la

figura 4 se ve un histograma que representa el número de intersecciones del mapa en función de las diferencias  $T_i(\alpha, \delta)$ . Como se ve, luego de 3 iteraciones, el número de puntos con  $T_b < 50$  mK son m s de 3850 puntos.

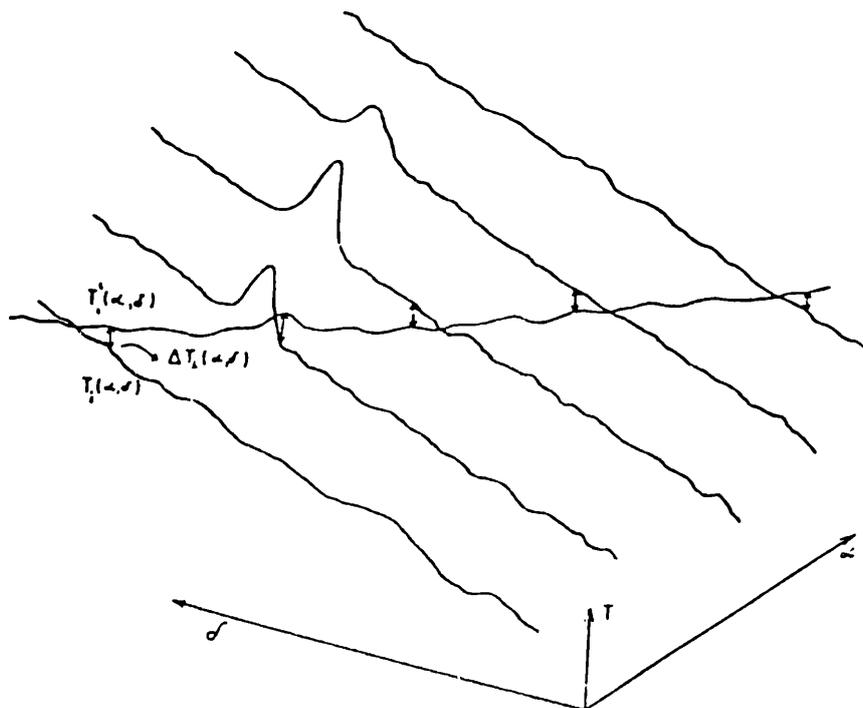


Figura 3: Representación esquemática de un barrido con sus intersecciones y las diferentes diferencias de temperaturas explicadas en el texto.

### POTENCIA 1 SCANS (+)

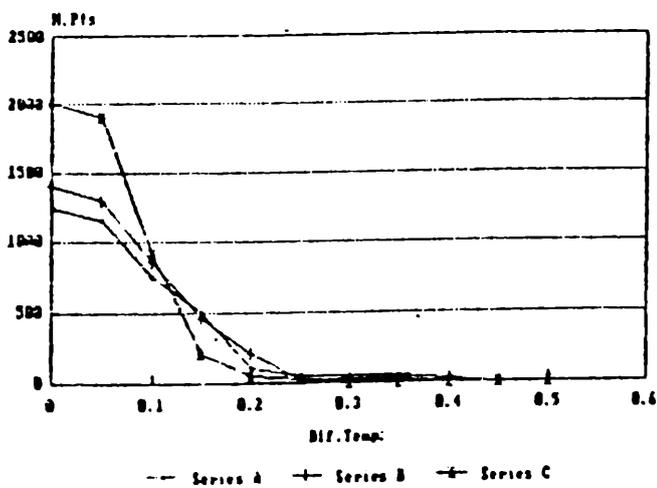


Figura 4: Histograma para una de las potencias totales y para los "up scans", donde se muestra que luego de 3 iteraciones (serie C) el número de puntos con  $T < 0.05$  K es mayor que 3800.

## CORRECCION POR EFECTOS DE BARRIDO

Debido a pequeñas variaciones de ganancia, inestabilidades, efectos atmosféricos, etc., que se producen cuando el radiotelescopio va barriendo la zona, el mapa final se verá afectado por estos problemas. Para su corrección se utilizó el método de Sofue y Reich (1981).

El mismo consiste en convolucionar el haz original a un tamaño dos o más grande. Al barrido convolucionado, se le resta el barrido original y a estas diferencias se le ajusta un polinomio. Para nuestros datos se utilizó un haz de 70' y un polinomio de 2do. grado.

Luego del proceso de iteración tenemos dos mapas, uno para los "down" y otro para los "up scans". Estos mapas son, primero retabulados, luego promediados y finalmente precesados.

## MAPA EN COORDENADAS ECUATORIALES

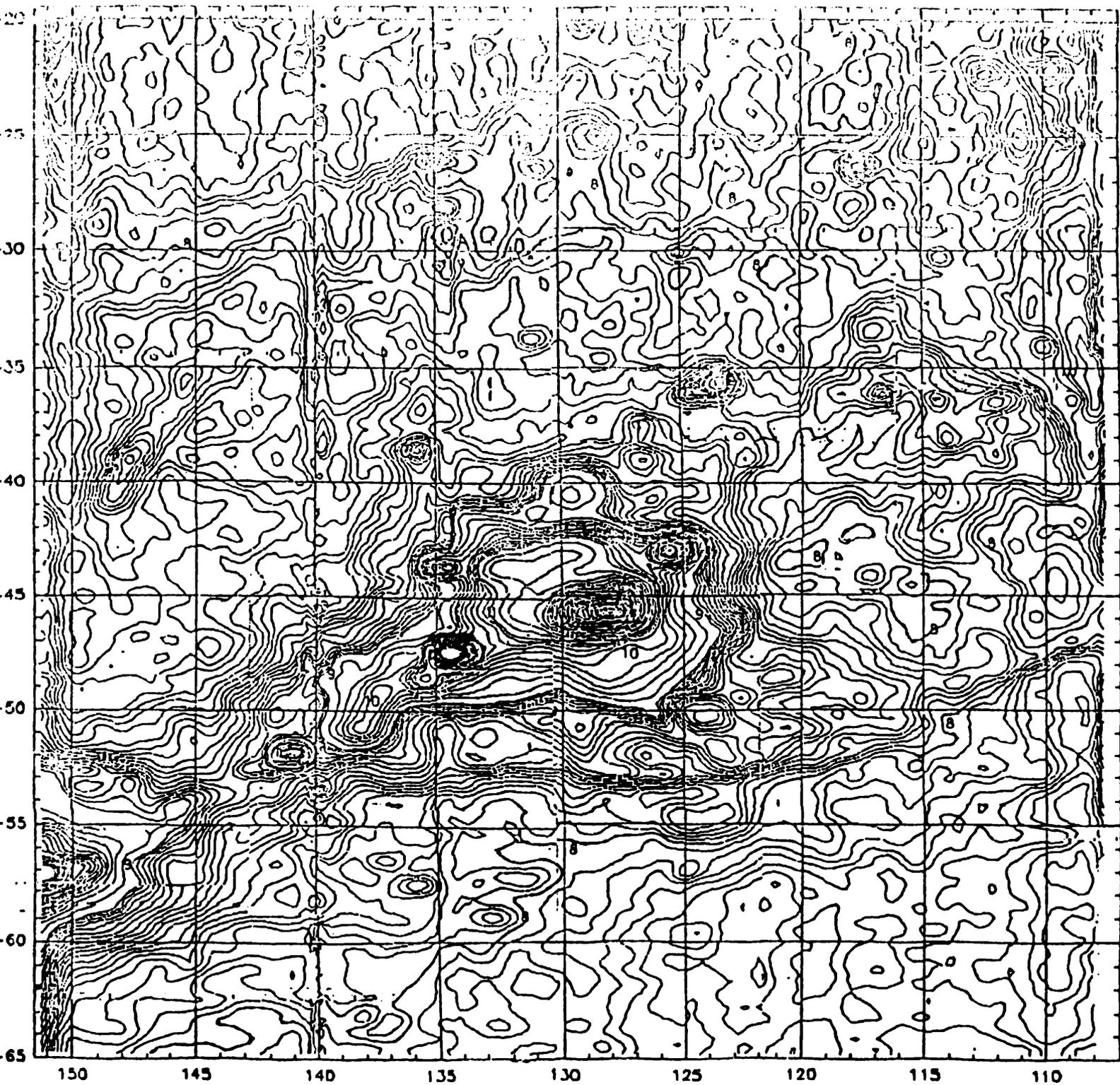
Para reducir la relación señal ruido, el mapa final es convolucionado a un Haz de Antena de 40'. La figura 4 muestra el mapa final en coordenadas 1950.0.

El ruido final del mismo es de 30 mK y el área mapeada fue de 1225 grados cuadrados.

## INDICES ESPECTRALES

### Adaptación de Niveles Cero

Para computar un índice espectral, el nivel absoluto cero de cada mapa debe ser conocido precisamente.



ASCENSION RECTA (1950.0)

Figura 5: Mapa final en coordenadas ecuatoriales 1950.0 y en Temperatura de Br  
 (Tb). Los niveles están dibujados cada 50 mK, para  $T_b < 9.0$  K. Para  $9.0 < T_b < 11.0$   
 cada 200 mK y para  $T_b > 11.0$  K cada 0.50 K.

Para conocer este valor, los mapas han sido ajustados con la ayuda de un gráfico Temperatura-Temperatura, cuya extrapolación a cero dará este valor.

Las temperaturas observadas a una frecuencia dada está compuesta por:

$$T(f_1) = T_{gal} + T_{off} = T_{gal} + T_{bg} + T_{ex} - T_0(f_1) \quad (1)$$

donde:

$T_{gal}$  = Temperatura de brillo galáctico

$T_{bg}$  = Temperatura de background = 2.7 K

$T_{ex}$  = contribución de fuentes extragalácticas no resueltas

$T_0(f_1)$  = corrección del nivel cero

$T_{off}$  = offset de temperatura

El índice espectral  $\beta$  está relacionado con la temperatura de brillo y la frecuencia por:

$T_b = (f)^{-\beta}$ . Si este índice es constante en un área es válido escribir:

$$T(f_1) + A_{12}\{T(f_2) - T_{off}(f_2)\} + T_{off}(f_1) \quad (2)$$

$$\text{con: } A_{12} = (f_1/f_2)^{-\beta}$$

Si a uno de los mapas se le conoce el offset de temperatura, el valor para el otro mapa puede ser obtenido.

Según P. Reich y W. Reich (1988) los valores para el mapa de 408 MHz calibrados absolutamente son:

$$T_{ex} + T_{bg} = 5.8 \text{ K}$$

$$T_0(f_1) = 2.1 \text{ K}$$

Por lo tanto el offset para 408 MHz será:  $T_{off} = 3.7 \text{ K}$ .

Para encontrar el nivel cero a la frecuencia de 1435 MHz, el área comprendida entre las coordenadas galácticas: 244L260 y 11B31 alejada de fuertes contribuciones galácticas, fue convolucionada en ambos mapas a un haz de 6 para la construcción del gráfico T-T. La figura 6 muestra este gráfico. El índice espectral de la pendiente ajustada resultó para la emisión de 2.7.

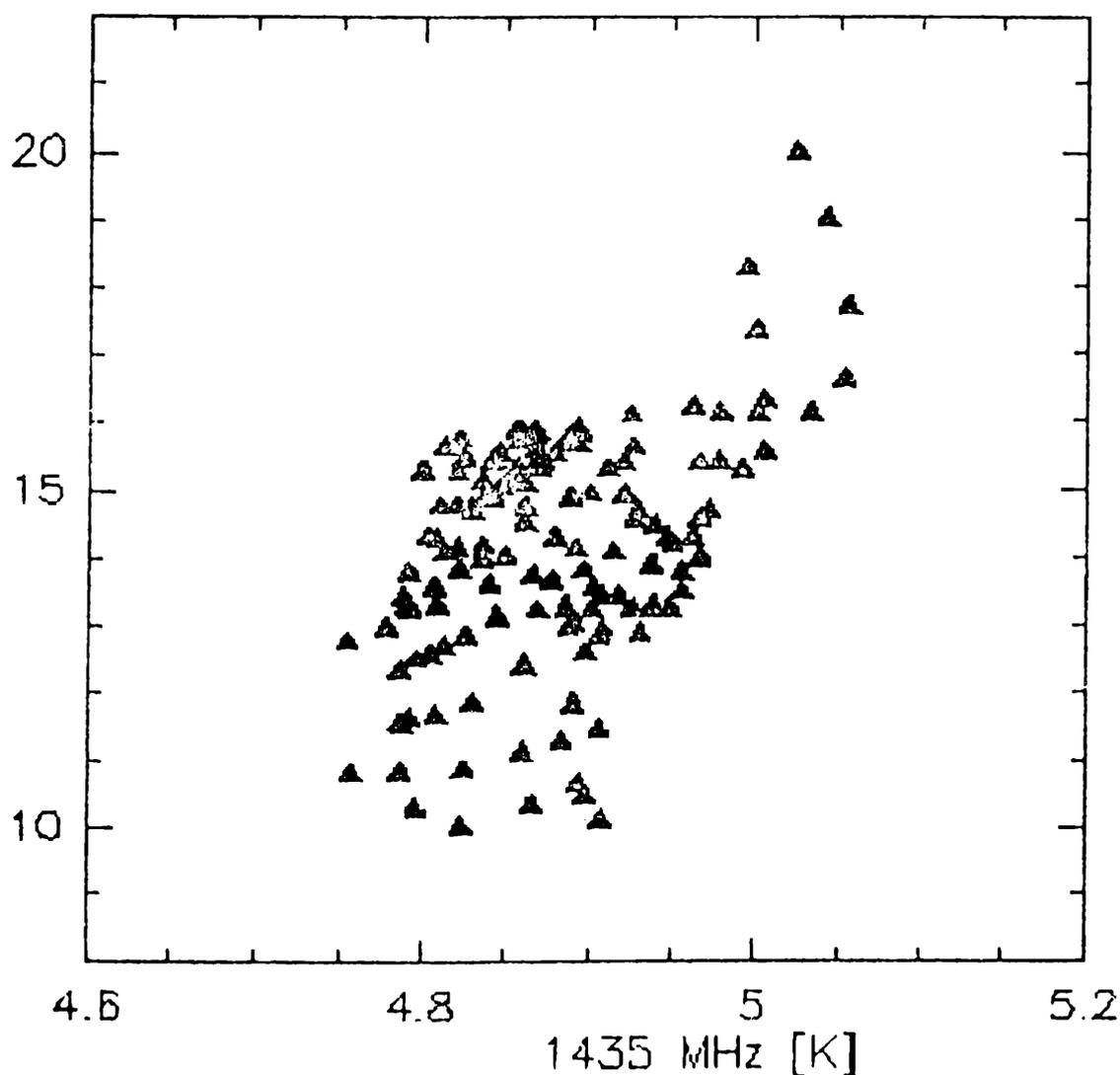


Figura 6: Gráfico Temperatura-Temperatura para la región  $244.0 < L < 260.0$  y  $+11 < B < +31.0$ .

Tomando los valores dados anteriormente para 408 MHz y asumiendo una:  $T_{gal} + T_{ex} = 2.8$  K para nuestros datos, extrapolando del gráfico T-T con  $\beta=2.7$  el offset de temperatura para nuestro mapa puede ser com-

putado con la ecuación (2), y obtener con la ecuación (1) la temperatura cero.

Luego de realizar estos pasos el valor hallado para 1435 MHz resultó ser:  $T_0(f_2) = 4.41$  K, con un error de 0.06 K.

El índice espectral  $\beta$  entre las dos frecuencias  $f_1$  (408 MHz) y  $f_2$  (1435 MHz) puede ser computada por:

$$\beta = \log \{T(f_1)/T(f_2)\} / \log(f_2/f_1)$$

con:  $T(f) = T_{gal} - T_{off}(f)$ .

### Mapa de Indices Espectrales

El índice fue computado a una resolución angular de 1. Previamente, el mapa de 1435 MHz fue llevado a coordenadas galácticas y retabulado al mismo intervalo tabular que el mapa de 408 MHz.

Las figuras 7a y b muestran los mapas en ambas frecuencias, convolucionados y corregidos por la temperatura del offset  $T_{off}$ . La figura 7c muestra la distribución del índice espectral. Como se ve, el índice espectral de toda la zona tiene un valor promedio de  $\beta=2.6$  a 2.7 ( $\alpha=0.6$  a 0.7), característico de radiación no-térmica. El índice más elevado lo encontramos en Puppis ( $L = 260.4$ ,  $B = -3.4$ ), donde alcanza un valor de  $\beta=2.7$ .

En la región de Vela ( $L = 263.9$ ,  $B = -3.0$ ) encontramos en la parte sur del mismo, un índice más chato ( $\beta=2.20$ ), tal vez por la presencia de una región HII. También puede distinguirse claramente la región HII RCW 38 ( $L = 268.0$ ,  $B = +1.5$ ) con un índice  $\beta=2.0$  ( $\alpha = 0.0$ ), como cabe esperar en este tipo de regiones.

1435 MHz

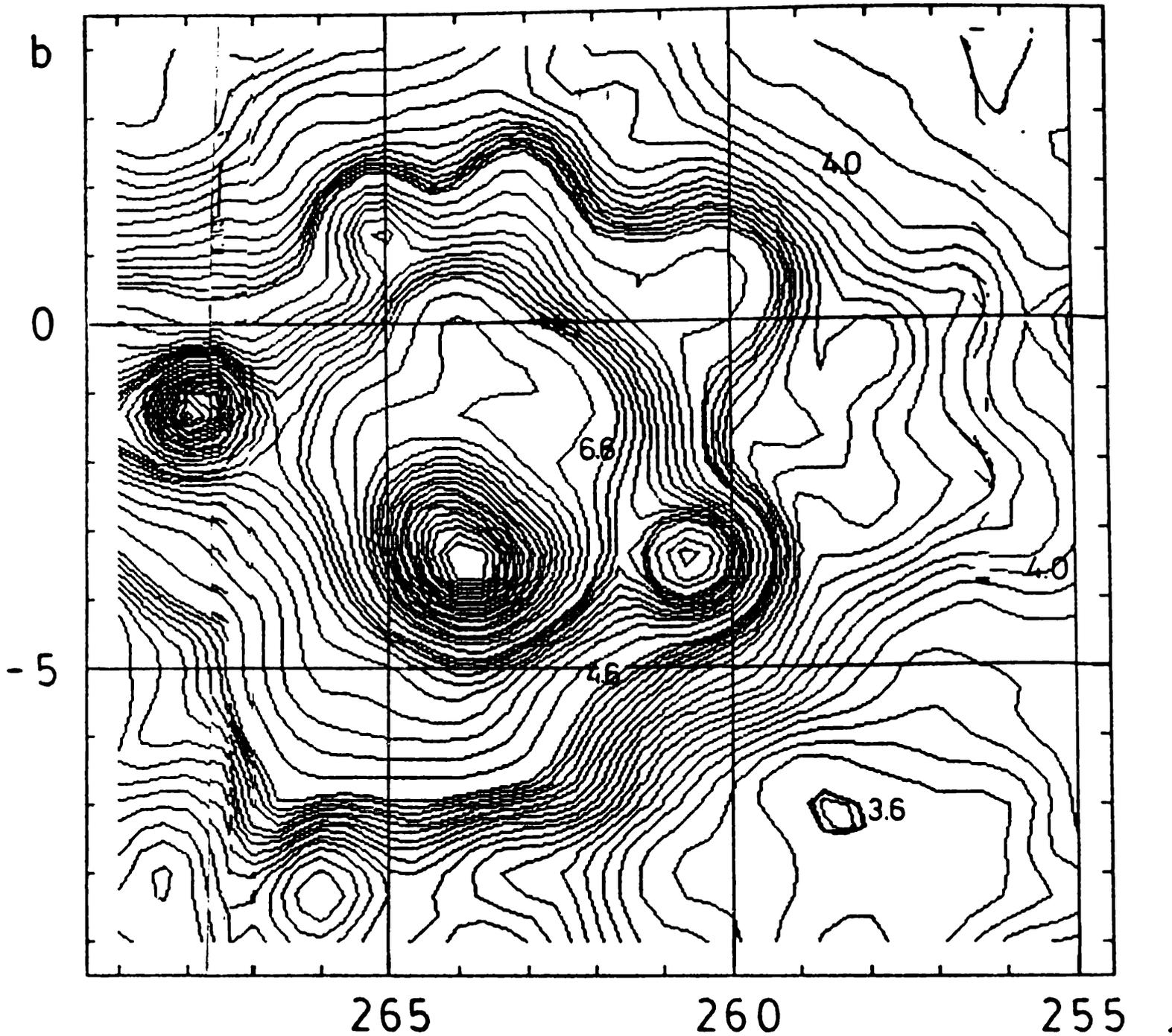


Figura 7 (a): Mapas en 1435 MHz, 408 MHz y distribución de índices espectrales con una resolución de  $1''$ , (a) mapa de 1435 MHz de la región central de la nebulosa y temperatura absoluta. Los niveles están graficados cada 50 mK, para  $T_b < 4.6$  K. Para  $4.6 < T_b < 6.6$  cada 200 mK. Para  $T_b >$  que 6.6 cada 500 mK.

408 MHz

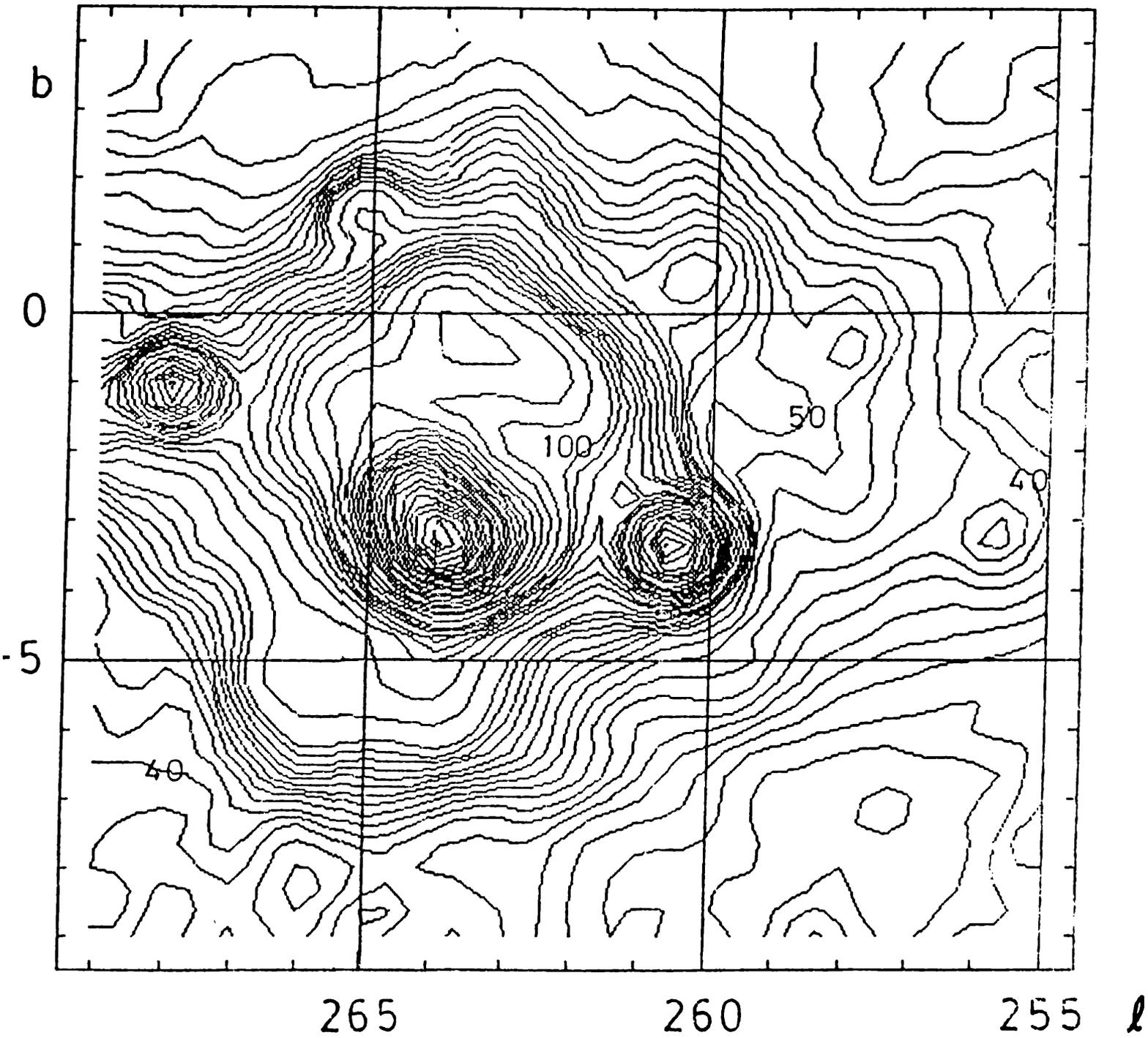


Figura 7(b): mapa en 408 MHz (Haslam et al. 1982).

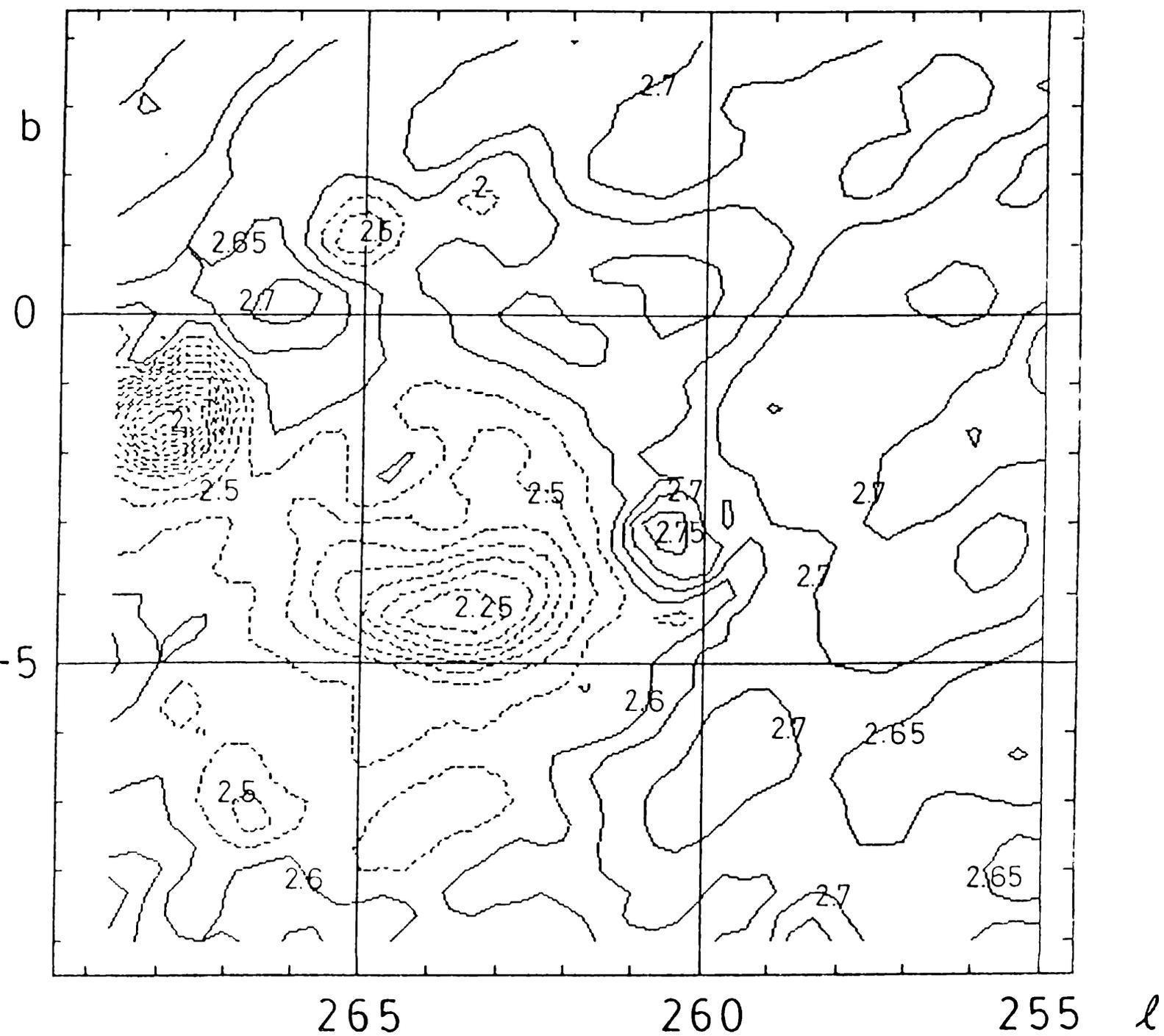


Figura 7 (c): mapa distribución de los índices espectrales entre 408 y 1435 MHz