

⑧  
Archivo de Divises de  
Ensinu

CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE  
ESTRUCTURA GALACTICA A BAJAS LATITUDES

Edemundo R.Vieira

Universidad Nacional de Buenos Aires

1968



## AGRADECIMIENTOS

La posibilidad de realizar este trabajo se debe a la inestimable colaboración del Instituto Argentino de Radioastronomía que puso a mi disposición su radiotelescopio y sus instalaciones donde fueron realizadas las observaciones.

Estoy muy agradecido a todos los miembros del I.A.R. por el ambiente amable que me brindaron durante los años en que conviví con ellos. Al dinámico director Dr. Carlos M. Varsavsky mis agradecimientos especiales por los consejos, estímulos y sugerencias en la realización de este trabajo. También a la señora Lic. Silvia L. Garzoli que gentilmente leyó los originales haciendo las correcciones de idioma. El Dr. Carlos Jaschek mucho contribuyó con su experiencia acompañándome en la realización de mi tesis; a él mis palabras de reconocimiento y agradecimiento. A la Universidad Nacional de La Plata y en especial al Centro de Computación en la persona de su Director Dr. Jacobo Gordon, por haberme facilitado la computadora para la reducción de los datos. Al Sr. José Sersic que obtuvo placas fotográficas de la región observada. Al Dr. J. J. Giambiagi por su apoyo en los primeros tiempos de mi estadía en el país creando las condiciones que permitieran mi ingreso en la carrera del doctorado. A la Srta. Marta L. D'Agostino que colaboró en la preparación del manuscrito.

Quiero también expresar mi agradecimiento póstumo al Prof. Dr. Jorge P. Staricco de quien fuí alumno en Porto Alegre, y que mucho hizo por el éxito de mis estudios.

La posibilidad económica de realizar este trabajo se debe a la Universidad Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, que otorgó al autor una beca de estudios que le facilitó su permanencia en la Argentina. El Centro Latino Americano de Física contribuyó en la realización de la tesis a través de una beca complementaria concedida al autor durante la mayor parte del tiempo en que realizó sus trabajos.



Quiero expresar mi especial gratitud a los profesores, David M. da Cunha, Gerhard Jacó**b**, Darcy Dillenburg y Victoria E. Herseovitz, del Instituto de Física de la UFRGS y a los dirigentes del CLAF por su inestimable colaboración.

Finalmente quiero dedicar con todo cariño el presente trabajo a mi esposa Iara, y agradecer su continua ayuda en todas las fases de mis estudios y en especial por su gran contribución al realizar todos los gráficos del presente trabajo.

INDICE

	<u>Página</u>
Agradecimientos .....	2
Resumen .....	5
1 Introducción.....	7
1.1 La transición hiperfina del estado fundamental del hidrógeno neutro .....	7
1.2 Algunos trabajos anteriores .....	10
1.3 Objeto del presente trabajo .....	14
2 El radiotelescopio y técnicas de observación .....	15
2.1 La antena y el receptor .....	15
2.2 Métodos y técnicas de observación .....	18
3 Presentación de los datos .....	21
3.1 Perfiles típicos .....	21
3.2 Perfiles de comparación .....	21
3.3 Curvas de isoterma o isointensidad .....	22
3.4 Diagramas a velocidad constante .....	23
3.5 Parámetros asociados .....	23
3.51 Densidad superficial de hidrógeno .....	23
3.52 Dispersión y velocidad central .....	24
4 Características generales .....	24
4.1 El hidrógeno local .....	24
4.2 La característica a -13 Km/s .....	26
4.3 La característica a -20 Km/s .....	28
4.4 La característica a -30 Km/s .....	30
4.5 Consideraciones generales .....	33
5 Características de dimensiones chicas .....	34
5.1 Nubes de velocidad negativa .....	34
5.2 Una nube con velocidad positiva .....	35
Referencias .....	38
Leyendas de las figuras .....	40



## RESUMEN

Con el telescopio de 30 metros del Instituto Argentino de Radioastronomía y utilizando un receptor de 56 canales se hicieron observaciones en la línea de 21 cm. del hidrógeno neutro en la región de longitudes galácticas entre  $302^\circ$  y  $310^\circ$  y de latitudes galácticas entre  $2^\circ$  y  $12^\circ$ . Cada canal tiene un ancho de banda equivalente de 10 KHz y distanciados entre sí de 18.953 KHz (= 4.0 Km/s). Fueron tomados puntos cada  $0^\circ,5$  tanto en longitud como en latitud. Los perfiles obtenidos constan de puntos cada 2 Km/s en el rango -100 a + 100 Km/s.

En general cada punto fue observado 2 veces en fechas diferentes y cuando en algún caso las dos observaciones contenían alguna incoherencia el punto fue observado nuevamente.

El análisis general de las observaciones revela que la densidad del hidrógeno decrece con mayores latitudes hasta aproximadamente  $b = 4^\circ,5$ . A partir de ese valor se constató que la densidad sufre un incremento. Se estudian las características generales que surgen en esta región del cielo así como también las concentraciones aisladas, inclusive una de velocidad positiva.

Las características generales que se estudian se distinguen por su velocidad radial con respecto al centro local de reposo. Son las siguientes:

a) El hidrógeno local. Esa característica puede ser fácilmente identificada porque tiene una variación pequeña con la latitud y por su velocidad que es muy cercana a cero.

En la región observada se encontraron perfiles donde la componente local del hidrógeno se presenta prácticamente aislada de tal forma que se pudo determinar gráficamente su baja dispersión. (Los perfiles no fueron analizados en componentes gaussianas por computadora).

b) Una característica a -13 Km/s se observa a latitudes entre  $8^\circ,5$  y



10°,5. Esa concentración tiene una máxima intensidad en el punto  $l = 305°,5$  y  $b = 9°,5$ , donde la temperatura de brillo es superior a 70° K. La distancia a esa característica fue determinada suponiendo aplicable el modelo de Schmidt.

c) A velocidad de  $\approx 20$  Km/s se estudian concentraciones a dos alturas diferentes. Una que surge en latitudes entre 5°,0 y 8°,0 y la otra entre 9°,0 y 10°,5. También en esta característica fueron encontrados componentes prácticamente aisladas y de baja dispersión.

d) Una última característica general que presentan los perfiles observados se encuentra a velocidad de  $\approx 30$  Km/s. Esa característica tiene su densidad máxima entre 4°,5 y 7°,0 de latitud.

Además de esas características generales son detectadas algunas concentraciones aisladas con velocidades negativas. Se estudia también una concentración de velocidad positiva en el punto  $l = 306°,5$  y  $b = 2°,5$ . Con el objeto de verificar si esa característica pertenece o no al plano galáctico fueron observados puntos de latitudes menores a  $b = 2°$ .

Observaciones: La escala de temperatura en el presente trabajo debe ser multiplicada por 0,9 a fin de coincidir con la escala sugerida por un Comité de la Unión Astronómica Internacional que adoptó  $T = 80°$  K para el punto  $l = 356°,0$   $b = -4°,0$ .



## 1 INTRODUCCION

### 1.1 La transición hiperfina del estado fundamental del hidrógeno neutro.

Las ondas electromagnéticas, en el rango de radiofrecuencias provenientes del espacio exterior fueron observadas por primera vez en 1951, por Karl Jansky, de los Laboratorios de la Bell Telephone, mientras investigaba interferencias atmosféricas en la longitud de onda de 14.7 m. Jansky pudo determinar el caracter exterior de la radiación detectada por la periodicidad con que ella aparecía; el período no era de 24 horas si no de 23h 56m. Observaciones más cuidadosas llevaron a la conclusión de que la fuente que producía esa intensa perturbación era el centro de nuestro sistema galáctico.

Aparentemente Jansky y en general los astrónomos de esa época no se dieron cuenta de la importancia del descubrimiento. En 1940, el físico norteamericano Reber, inició la investigación de las ondas de radio, de origen cósmico en forma sistemática, y ya en 1944 fueron publicados los primeros mapas del plano galáctico que mostraban la distribución del brillo de las ondas cósmicas en la frecuencia de 160 MHz. A partir de entonces se multiplicaron el número de observadores y el rango de frecuencias observadas fue ampliado, entre 9,15 MHz ( $\lambda = 32.8\text{m}$ ) y 3.000 MHz ( $\lambda = 10\text{ cm}$ ).

La atmósfera es transparente desde una longitud de onda de 1 mm hasta algunas docenas de metros. El límite superior está dado por la reflexión y absorción de la ionósfera. El dominio de las ondas de radio provenientes del espacio exterior accesibles a la observación es pues muy grande en comparación con el dominio de la radiación óptica; la razón es aproximadamente de 100000 : 1 .

La mayor parte de la radiación observada en el rango de las ondas de radio es principalmente continua. La emisión y absorción de líneas es muy poco frecuente y hasta el momento fueron encontradas muy pocas. La primera que se detectó es la línea en 21 cm (1420 ; 4058 MHz) proveniente de la estructura hiperfina del hidrógeno atómico neutro. En 1944, Van de



Hulst, cuando todavía estudiante, presentó un trabajo donde mostró que las transiciones entre niveles hiperfinos del estado  $1^2S$  del átomo de hidrógeno produce una línea de emisión a la longitud de onda de aproximadamente 21 cm, en el dominio de las ondas de radio, y planteó la posibilidad de detectarla en el hidrógeno interestelar. A pesar de ser el hidrógeno el elemento de mayor abundancia en el universo, la astronomía óptica muy poca información aportaba sobre él. Las líneas de la serie de Lyman están en el ultravioleta, región del espectro inaccesible desde la superficie terrestre, que solamente pueden ser detectadas mediante instrumentos colocados en cohetes fuera de la atmósfera.

Cada nivel hiperfino se caracteriza, además de los números cuánticos comunes, por el número cuántico  $F = J + I$ , donde  $I$  es el spin del núcleo,  $J = L + S$  es el momento angular total,  $L$  es el momento angular y  $S$  el spin del electrón. Para el estado fundamental del hidrógeno  $L = 0$ ,  $S = 1/2$ ,  $J = 1/2$ ,  $I = 1/2$  y para los dos niveles hiperfinos  $F$  puede ser zero o 1.

La energía asociada con la estructura hiperfina puede ser calculada a partir de una fórmula dada por Bethe y Fermi:

$$W = \frac{h\nu_0}{n^3} \left( \frac{F(F+1) - I(I+1) - J(J+1)}{(2L+1)} \right)$$

donde  $n$  es el número cuántico principal,  $\nu_0 = g(I)\alpha^2 cR$ ,  $g(I)$  es el factor de Landé para el protón,  $\alpha$  es la constante de estructura fina y  $R$  es la constante de Rydberg.

Tomando valores apropiados para los números cuánticos en el estado fundamental del hidrógeno, obtenemos para la energía de separación entre las componentes de la estructura hiperfina la relación

$$h\nu = \frac{8}{3} h\nu_0$$

El valor de  $\nu$  puede ser medido directamente utilizando los métodos de resonancia magnética dados por Nafe, Nelson y Rabi (1947). Los



resultados más recientes se obtuvieron utilizando masers de hidrógeno atómico (Crampton, Kleppner y Ramsey, 1963; Menoud, Racine y Kartaschaff, 1964; Vessat, Peters y Vanier, 1964; Peters, Holloway, Bagley y Cutter, 1965). De acuerdo con las últimas determinaciones la frecuencia de la línea, se conoce con aproximación de un ciclo por segundo: Actualmente se toma para el valor:  $\nu = 1420, 405752$  MHz.

La probabilidad de transición entre los dos niveles hiperfinos, se obtiene por la relación dada por Condon y Shortley,

$$A_m(A,B) = \frac{4\pi^2 q^2 h}{3 m^2 c^2} \frac{\nu^3}{2 F_A + 1} S(A,B)$$

$$= 2.696 \times 10^{-11} \frac{\nu^3}{g_A} S(A,B)$$

donde  $\nu$  es el número de onda, A y B representan los estados inicial y final del átomo y  $g_A = 2 F_A + 1$  es el peso estadístico del estado inicial. En nuestro caso,  $F_A = 1$  y  $g_A = 3$ ).

$S(A,B)$  es un factor adimensional que representa la "intensidad de la línea", y que depende de los <sup>números</sup> cuánticos. En nuestro caso  $S(A,B)$  vale 3 (vease Shklovsky, §14). Con estos valores, encontramos para la probabilidad de transición

$$A_{21} \equiv A_m(A,B) = 2.85 \times 10^{-15} \text{ s}^{-1}$$

La vida media del átomo de hidrógeno "excitado" (estado  $F = 1$ ) es

$$\tau_{21} = A_{21}^{-1} \approx 3.5 \times 10^{14}$$

i.e., 11 millones de años. Debemos tener en cuenta que aún en las condiciones más favorables el hidrógeno interestelar puede volver a su estado fundamental por una transición hiperfina sin emitir radiación,



como resultado de una colisión.

A pesar de la aparente dificultad de detectar la línea de 21 cm, debido a la baja probabilidad de transición, muchos esfuerzos fueron puestos en ese objetivo y finalmente, en 1951, Ewen y Purcell, observaron por primera vez la línea emitida por el hidrógeno neutro. Desde esta fecha hasta hoy se han mejorado mucho las técnicas de observación. Actualmente los perfiles son obtenidos con precisión superior a  $1^{\circ}$  K en temperatura de brillo y del orden de 1 KHz en frecuencia en el análisis espectral. La importancia del estudio de línea de 21 cm es fundamental; ha contribuido sensiblemente a la determinación de la estructura y dinámica de nuestra galaxia, además de aportar informaciones que nos capacitan a ampliar los conocimientos acerca de todo el universo.

### 1.2. Algunos trabajos anteriores.

El primer trabajo sistemático en el que se estudió la distribución del hidrógeno neutro, a latitudes  $|b| \geq 10$ , mediante perfiles de la línea de 21 cm, fue hecho por Mc Gee y Milton (Mc Gee, 1964). Las observaciones fueron realizadas con una antena de  $2^{\circ}.2$  de resolución angular y un receptor con un ancho de banda equivalente de 38 KHz ( $\approx 8$  Km/s). Dieron como resultado diagramas de distribución de intensidades y estos no muestran ninguna evidencia de H a latitudes mayores que  $2^{\circ}$ , lo cual impide compararlos con nuestras observaciones. En el observatorio de Parkes no se ha hecho ningún otro trabajo a latitud intermedia. Numerosos investigadores se dedicaron al análisis de la estructura interestelar en términos de un modelo de nubes discretas. Blaauw (1952), Van de Hulst (1958), y otros, resaltaron que los conceptos de nubes no son muy claros y su aplicación es, a veces, inconsistente. Takakubo y Van Woerden (1966) sostienen que las propiedades derivadas de nubes interestelares depende del tipo de investigación y de los datos utilizados, por lo tanto, en muchos casos es útil describirlos en términos de los parámetros de las nubes.



Actualmente en la mayoría de los trabajos publicados, encontramos que los perfiles son analizados descomponiéndolos en sus componentes gaussianas.

Takakubo, Van Woerden, Lindblad, Grinstein, Dieter, y otros usan los parámetros obtenidos a partir del análisis en componentes para caracterizar y separar las nubes discretas observadas a lo largo de la visual. Un análisis de este tipo es más simple de realizar a latitudes galácticas intermedias y altas, pues en el plano galáctico la separación de las componentes se torna más difícil, lo cual nos lleva a una ambigüedad en la obtención de los parámetros.

La controversia que existe actualmente con respecto a la nomenclatura de las concentraciones de hidrógeno observadas se debe, creemos, no a que el nombre "nube" no sea el más adecuado si no por que se cometen muchas imprecisiones al determinar los parámetros concernientes a las "nubes" tales como tamaño, densidad, masa. Toda esa imprecisión es consecuencia de la falta de medios para, mediante métodos radioastronómicos, determinar la distancia entre el hidrógeno detectado y el observador, especialmente cuando se trata de concentraciones aisladas. Otros parámetros dependen directamente del instrumental utilizado. De esta forma el diámetro estimado de las concentraciones puede decrecer mejorando la resolución angular. Por otro lado el análisis espectral mejora mucho si se utilizara filtros con anchos de banda más angostos. Existe un límite para determinar el ancho de banda más conveniente, dado por el hecho que al utilizar anchos de banda más angostos se aumenta proporcionalmente la imprecisión de cada medida individual, a intervalos de tiempo iguales. Actualmente se busca minimizar el tiempo de observación al mismo tiempo que se mejora la resolución en frecuencias.

La Tabla No. 3 (Van Woerden, 1967) muestra algunos valores típicos de las nubes interestelares.



Tabla

Parámetros de nubes interestelares

Referencia	Notas	2R (Pc)	$N_0$ (Kpc) <sup>-3</sup>	K (Kpc <sup>-1</sup> )	f	$M_H$ ( $M_\odot$ )	$n_H$ (cm <sup>-3</sup> )	$N_H$ (cm <sup>-2</sup> ) <sup>-20</sup>
Strömgen (1948)	1	20	20000	7	0.10	600	6	8
Van de Hulst (1958)								
Strömgen (1948)	2	15				2500	60	28
Oort (1954)	3	60				30000	10	18
Spitzer (1967)	4	14	50000	8	0.07	400	10	4
Spitzer (1967)	5	30	1000	0,7	0.007	7000	20	18
Spitzer (1967)	6	8				800	100	25
Takakubo (1963a)	7	7	300000	11	0.05	54	14	3
Terauti (1963)	8	16	70000	14	0.14	264	4,6	2,3
Dieter (1965)	9	9				17	1,8	0.5
Clark (1965)	10	10		8		59	8	2,6
Raimond (1966)	11	40				6000	8	10
Heiles (1966a) (1967)	12	5				4	2	0.3
Scheffler (1967b)	13	3		5		25	70	6
Scheffler (1967b)	14	25		0,5		15000	70	55

Titulos de las columnas: 2R = diámetro;  $N_0$  = densidad de nubes en el espacio, cerca del plano galáctico; K = densidad lineal de nubes, cerca del plano galáctico; f = fracción de espacio ocupado por nubes;  $M_H$  = masa de hidrógeno neutro en la nube;  $n_H$  = densidad de átomos de hidrógeno en la nube;  $N_H$  = densidad superficial de hidrógeno en la visual en el centro de la nube.

Notas:

1. Nube interestelar "promedio", datos de extinción y de líneas de absorción interestelar óptica.
2. Nube densa frente a  $\chi^2$  Ori.



3. Complejos de nubes grandes (ej.: in Taurus)
4. Nube "patrón", cf. nota 1.
5. Nube "grande", de estadísticas de exceso de color (Schatzman, 1950; Münch, 1952)
6. Nube oscura de tamaño intermedio, adaptado de Bok.
7. Nube interestelar simple, de estadísticas de  $N_H$  por componente de perfil en un estudio a latitudes intermedias. Modelo: nubes iguales, homogéneas, esféricas.
8. Nube esférica + capa de tamaño doble y densidad mitad, cf. nota 7.
9. Cuatro nubes en la región del Polo Galáctico Norte, de la continuidad en los parámetros de las componentes de perfil. Suponiendo distancia 100 pc.
10. Veintitres componentes de espectro de absorción de radiofuentes intensas; Excluida Ori A.
11. Tres nubes en la asociación II Mon.
12. Promedios de 815 "nubesitas" en un estudio. Supone distancia 500 pc.
13. De estadísticas de extinción visual, "nubes pequeñas".
14. De estadísticas de extinción visual, "nubes grandes compactas".

Con el telescopio de Green Bank Carls Heiles (Heiles 1966), determinó concentraciones que serían diámetros muy pequeños, del orden de  $0.5$  pc de  $5$  pc, suponiendo una distancia de  $500$  pc). A esas pequeñas concentraciones las llama "nubecitas". En el simposium del IAU-URSI en Holanda, al discutirse trabajos sobre "Nubes interestelares", Van de Hulst sostuvo que nunca debe tomarse el tamaño o la masa de una nube como punto de partida o final de un argumento científico.

En este trabajo presentamos diagramas donde se evidencian concentraciones de hidrógeno, que muy bien podrían ser denominadas nubes, sin con esto estar infringiendo ningún error de nomenclatura. Es cierto también que no podremos determinar ni la masa ni el tamaño de dichas concentraciones, pues para eso necesitaríamos de un parámetro fundamental



que solamente puede ser estimado en comparación con datos obtenidos de la astronomía óptica o algún modelo teórico. Generalmente el hidrógeno está asociado a estrellas jóvenes, polvo interestelar y cúmulos abiertos. La comparación entonces con esos datos ópticos, principalmente con las líneas interestelares del Ca y Na, es de suma importancia, pues a partir de ella se puede dar un límite de distancia, a partir del cual se pueden calcular posteriormente los otros parámetros.

Otra de las grandes dificultades de la radioastronomía recide en la determinación de la temperatura cinética del hidrógeno. Se la supone uniforme en todo el espacio y se adopta el valor de  $125^{\circ}$  K. Este límite para la temperatura fue determinado analizando perfiles en dos regiones donde se suponían conocidas las profundidades ópticas de cada región y midiendo la intensidad de la radiación observada en una unidad arbitraria. Muchos autores calcularon teóricamente el valor de temperatura cinética suponiendo equilibrio entre ganancia de energía como consecuencia de la fotoionización de los átomos y la pérdida por colisiones inelásticas. Los valores de T calculados teóricamente varían entre  $20^{\circ}$  K y  $200^{\circ}$  K.

Un método muy directo para determinar la temperatura cinética del hidrógeno observado es suponer que el ensanchamiento del perfil se debe a la agitación térmica de los átomos. Una vez más el criterio sería muy problemático, pues el ensanchamiento puede ser la suma de la agitación térmica y de movimientos turbulentos. Solamente en casos muy favorables, donde los perfiles fuesen suficientemente angostos y con un receptor de muy buena resolución en frecuencia, es que se podría usar esa hipótesis.

### 1.3 Objeto del presente trabajo.

El objeto de este trabajo es hacer un estudio acerca de la estructura en la zona de nuestra galaxia cercana al plano. Hasta el momento la mayoría de las investigaciones se dedicaron a estudios de la es-



estructura del plano galáctico en la región  $|b| \geq 2$  y a latitudes intermedias y altas. Se suponía que la casi totalidad de las concentraciones de hidrógeno que determinan la ya bien conocida estructura espiral del sistema galáctico se encontraban en el plano propiamente dicho.

En este trabajo se hizo un análisis detallado de la distribución del hidrógeno en la región comprendida entre  $b = 2$  y  $b = 12$ . Encontramos que la intensidad de hidrógeno, o lo que es equivalente la temperatura de brillo, (que se definirá en el capítulo siguiente) muestra en rasgos generales un gradiente negativo, a medida que crece la latitud hasta  $b = 42.0$  o  $42.5$ .

A partir de ese valor, encontramos que la temperatura de brillo empieza a tener un aumento, lo que indica la presencia de una estructura por sobre el plano galáctico. Desafortunadamente el intervalo en longitudes galácticas estudiado es muy limitado  $302^\circ \leq l \leq 310^\circ$ , y no permite hacer una generalización de la estructura observada, pero nos dá buenos motivos para ampliar ese intervalo.

En la región estudiada encontramos perfiles que presentan una componente muy angosta y que pudo ser identificada facilmente por estar practicamente separada de las otras componentes. La importancia de esas componentes con dispersión muy baja ya fue discutida en la sección anterior ya que nos da una posibilidad de hacer una determinación directa de la temperatura cinética del hidrógeno.

Encontramos también concentraciones aisladas de pequeño tamaño angular y velocidad relativamente alta lo que parece indicar que se trata de objetos muy distantes.

## 2 El Radiotelescopio y técnicas de observación

### 2.1 Un radiotelescopio consta de dos elementos fundamentales: la antena y el receptor.

La antena se caracteriza por recibir una radiación electromagnética y transformarla en corriente eléctrica, que se propaga a través de



líneas de transmisión. El receptor recibe esta corriente, la amplifica y la torna factible de ser medida.

En el presente trabajo estamos interesados tan solo en antenas de recepción. Poseen una superficie recolectora que refleja el flujo de radiación recibido y lo concentra en un punto, llamado el foco de la antena. En el foco hay un dipolo, que es la parte esencial de la antena o la antena propiamente dicha. El dipolo debe ser construido con dimensiones adecuadas a la longitud de onda que se quiere detectar. La potencia de la antena es proporcional al flujo que capta, o sea es proporcional a su área recolectora. Una antena destinada a observaciones astronómicas, debe poder seleccionar la radiación proveniente de una determinada región del espacio, o sea debe ser una antena direccional, que reciba la radiación contenida en un cono de determinado ángulo sólido. La resolución angular es directamente proporcional al diámetro de la antena e inversamente proporcional a la longitud de onda observada.

La antena del Instituto Argentino de Radioastronomía es un paraboloide de 30 metros de diámetro que en la línea de 21 cm del hidrógeno neutro nos dá una resolución angular de 28 minutos de arco. Tiene montura ecuatorial, o sea, tiene un eje paralelo al eje NS de la tierra, y puede girar en torno de ese eje  $30^\circ$  al este y  $30^\circ$  al oeste del meridiano. Está dotada de una velocidad igual a la velocidad de la esfera celeste, y por lo tanto puede seguir un punto sobre ella durante 4 horas ( $60^\circ$ ). En el sentido norte-Sur la antena puede moverse desde  $-9^\circ$  hasta  $-90^\circ$ . La precisión con que se puede calar cualquier punto es mayor que  $0^\circ.02$  tanto en ascensión recta como en declinación.

El perfil del hidrógeno neutro que se observa no es un perfil simple centrado en la frecuencia  $1420$  MHz sino un perfil muy ancho y muy complejo. Debido al efecto Doppler el perfil observado se corre en frecuencias en función de la velocidad relativa entre la nube de hidrógeno y el observador. Además, debido a que los átomos dentro de una nube no



tienen todos una misma velocidad, sino que hay una gran dispersión de velocidades a causa de movimientos turbulentos y térmicos, el perfil se presenta muy ensanchado. Además normalmente detectamos muchas nubes a lo largo de la visual, que se distinguen por sus velocidades centrales. En la dirección del centro galáctico se encuentran perfiles con hasta siete componentes.

Por lo tanto para estudiar la línea de 21 cm debemos analizar una banda muy amplia, 2 MHz aproximadamente, centrada en la frecuencia de laboratorio de la transición hiperfina. Una manera de estudiarla sería construir un receptor que conste de un canal con un determinado ancho de banda y variar la frecuencia central del canal cubriendo de esa forma todo el ancho del perfil. Este método fue el utilizado por los primeros observadores del hidrógeno interestelar .

El otro método, que es lo que se utiliza actualmente, provee al receptor de un número grande de canales; lo que nos da información simultánea de muchos puntos del espectro estudiado.

Los parámetros principales de un receptor son la banda pasante de cada canal y la repetibilidad de la información registrada. El ancho de la banda pasante caracteriza la resolución en frecuencia del receptor y la repetibilidad, o la fluctuación estadística de las medidas, dá la precisión con que obtenemos la intensidad o temperatura de brillo del perfil.

Nuestro receptor consta de 56 canales de 10 KHz de ancho de banda y distanciados en 18,3 KHz (equivalente a 4.0 Km/s) uno del otro. Con el amplificador paramétrico que tiene actualmente el radiotelescopio del Instituto Argentino de Radioastronomía, el AT, o la fluctuación estadística, del equipo es inferior a 1° K, para un tiempo de integración de 90 segundos.

El receptor cuenta con dos salidas simultáneas y equivalentes. Una, a través de un registrador que nos dá una deflección proporcional



a la tensión eléctrica acumulada en el integrador correspondiente a cada canal.

La otra salida se efectúa a través de tarjetas perforadas. Esto se realiza introduciendo la misma señal de entrada al registrador en un conversor tensión-frecuencia. Los pulsos de salida de éste (proporcionales a la tensión de entrada) son contados en un contador digital. Esta información es transferida a la perforadora de tarjetas mediante un acoplador.

Estas tarjetas son posteriormente utilizadas en el proceso de reducción de datos.

## 2.2 Método y técnicas de observaciones

El presente trabajo comprende observaciones realizadas en la región. Se observaron en total 357 puntos separados cada  $0^{\circ},5$  tanto en longitud como en latitud. A la longitud  $306^{\circ},50$  se observaron además latitudes  $0^{\circ},5; 1^{\circ},0; 1^{\circ},5$ . Cada punto fue observado por lo menos dos veces, y las observaciones fueron hechas en el período entre julio a diciembre de 1967. Se hicieron también observaciones entre octubre y diciembre de 1966, pero ellas no fueron computadas debido a la mejor calidad de los últimos perfiles que fueron tomados después de la instalación del amplificador paramétrico en el receptor.

La observación completa de un punto consta de 4 registros, obtenidos con un determinado tiempo de integración,  $\tau = 90$  seg. Los primeros dos registros se toman con la frecuencia de laboratorio del hidrógeno neutro,  $H_0$ , centrada en un canal conveniente, posteriormente se toman dos registros más con  $H_0$  corrido en 2,5 canales. El objeto de ese procedimiento es, en primer término obtener el doble de puntos en un perfil y en segundo lugar detectar la presencia de algún canal que ande mal.

Un perfil así obtenido necesita ser corregido o reducido. El



primer problema con que nos encontramos es que todos los canales no tienen la misma ganancia. Para corregir esta irregularidad se efectúa previamente la medida de una fuente que emita radiación de igual intensidad en todas las frecuencias, en nuestro caso es una resistencia que está a la temperatura del nitrógeno líquido. Como la intensidad recibida por los canales es igual para todos, la ganancia de cada uno es proporcional a la deflexión registrada. Obtenemos así el factor ganancia de cada canal y hacemos posteriormente la corrección por ganancia de cada perfil. Para que los perfiles puedan ser comparados entre sí, tenemos que referir las velocidades con respecto a algún punto determinado. Este punto es el centro local de reposo. El Sol se mueve con respecto al CLR con una velocidad de 20 Km/s en dirección de  $\lambda = 270^\circ$  y  $\delta = 30^\circ$ . La velocidad respecto del C.L.R. se obtiene restando de la velocidad observada las componentes de la velocidad de la tierra con respecto al Sol y la del Sol con respecto al C.L.R.

Calibración de temperatura. Lo que se mide en un perfil es la temperatura de brillo observada, que se define por la fórmula de Ragleigh-Jeans, aplicable en la región de frecuencias que nos interesa:

$$B_\nu = \frac{2 K T}{c^2} \nu^2 "$$

que nos da la energía emitida por unidad de area por segundo y por unidad de ángulo sólido en una banda de 1 Hz a la frecuencia  $\nu$ . T es la temperatura del cuerpo negro; K, la constante de Boltzmann y C la velocidad de la luz. Tb es por lo tanto equivalente a la temperatura de un cuerpo negro que emite una energía  $B_\nu$ .

Los perfiles se calibran tomando como patrones algunos perfiles observados en Australia cuya temperatura de brillo es bien conocida en una escala arbitraria. Cada vez que observamos los puntos de nuestro programa observabamos también alguno de esos puntos y por comparación



determinamos las temperaturas de nuestros perfiles.

En la última reunión de Unión Astronómica Internacional se trató de uniformar las escalas de temperatura de brillo de las observaciones hechas con los diversos radiotelescopios; para ello fueron distribuidos perfiles de cuatro puntos seleccionados de forma tal que por lo menos uno de ellos pudiera ser observado por todos los telescopios. La relación entre la escala que utilizamos y esta escala internacional resultó ser:

$$T_{b_{int}} = T_b \times 0.9$$

La reducción de perfiles se realizó con la computadora electrónica perteneciente a la Universidad Nacional de La Plata. El programa utilizado para la reducción fue originalmente escrito por Federico Strauss, (ex-investigador del IAR) y perfeccionado posteriormente por el autor.

El perfil tal como sale de la computadora después de haber sido reducido por los métodos antes mencionados no está todavía libre de incorrecciones. La línea de base, que es la línea que indica el cero de temperatura no siempre era una recta centrada en cero.

Esa dificultad fue superada trazándose con posterioridad la línea de base. El perfil definitivo era la diferencia entre el perfil observado y la línea de base trazada.



### 3 Presentación de los datos

#### 3.1 Perfiles típicos.

En las figuras 1-3 presentamos algunos perfiles que pueden servir como ilustración de las características que analizaremos en los capítulos siguientes.

La Fig.1 muestra perfiles observados en la longitud galáctica  $l = 303^{\circ},5$ ; a 5 valores distintos de  $b$ . En  $b = 2^{\circ},0$ , a la velocidad  $-40$ , tenemos un pico con temperatura de  $100^{\circ}$  K. Esta característica pertenece al plano galáctico. Vemos también en este perfil otro pico con velocidad cero, que es la indicación del hidrógeno perteneciente al sustrato local. A velocidades positivas aparece también un pico con alta dispersión y baja intensidad que puede provenir de concentraciones de hidrógeno de partes más lejanas del plano.

En  $b = 5^{\circ},0$  se observa que el pico de  $V = -40$  ha desaparecido casi totalmente; lo mismo ha ocurrido con las características de velocidad positiva. En  $b = 6^{\circ},0$  se puede ver que en  $V = 30$  surge un nuevo pico; en  $b = 8,5$  el pico de  $v = 30$  ya ha desaparecido surgiendo otro en  $V = 20$  y finalmente en  $b = 11,0$  constatamos la presencia de un nuevo pico en  $V = 35$ . Las Figs. 2 y 3 muestran series análogas a la de la Fig.1.

#### 3.2 Perfiles de comparación.

En la Figura 4 se hace una comparación entre tres perfiles observados con el Radiotelescopio del I.A.R. y perfiles obtenidos con el telescopio de 25 metros de Dwingeloo, con un receptor de ancho de banda de 10 KHz. Los perfiles de Dwingeloo fueron publicados por P.O.Lindblad (1966) en la Parte III del Atlas de Dwingeloo.

Las temperaturas de nuestros perfiles fueron previamente multiplicados por 0,9 con el objeto de adaptarlos a la escala establecida por la U.A.I.



Los perfiles que observamos están representados por puntos distanciados en 2 Km/s. Los perfiles de Lindblad están representados por una línea, y fueron publicados originalmente por puntos separados en 1 Km/s. La coincidencia entre ambos es excelente.

### 3.3 Curvas de isoterma o isointensidad.

Se trazaron 2 conjuntos diferentes de mapas de distribución de temperatura. El primer conjunto nos da  $b$  versus  $V$  a longitud constante, el segundo,  $l$  versus  $V$  a latitud constante. El rango en velocidades considerado es de  $-70 \leq V \leq +10$  Km/s. Teniendo en cuenta que hemos obtenido perfiles que cubren el intervalo de velocidades  $-100 \leq V \leq 100$  debemos justificar el límite tan restringido con que fueron hechos las curvas de temperatura. La justificación es que fuera del límite  $-70 \leq V \leq +10$  no se encontraban características que pudieran ser relacionadas con hidrógeno fuera del plano galáctico. En un único caso donde encontramos una característica fuera del plano y fuera del rango mencionado se hicieron gráficos aparte.

En todos los casos las temperaturas fueron tomadas cada 5° de nuestra escala. Las curvas que tienen valor de temperatura múltiple de 10 son identificadas por los números sin el cero de la decena.

Como cuando se efectuó la reducción de nuestros perfiles, no existía aún el programa que restaba la línea de base, después de reducidos y graficados por la computadora los perfiles todavía presentaban sus líneas de base rotadas y desplazadas de la línea de temperatura cero por lo que los datos para las curvas a que nos referimos arriba fueron obtenidos gráficamente.

Se trazaron rectas paralelas cada 5° a partir de la línea de temperatura cero. De las intersecciones de las paralelas con la curva del perfil bajamos verticales para así obtener el valor de la velocidad respectiva. Con eso obteníamos los valores de las coordenadas utilizadas en las curvas.



### 3.4 Diagramas a velocidad constante.

Los perfiles presentan en general tres características claramente separables en velocidad. Para visualizar mejor la distribución del hidrógeno correspondiente a cada una de ellas, se las representó separadamente en diagramas  $\lambda$  vs.  $b$ .

Así lo hicimos para las velocidades -13, -20 y -30 Km/s. Esos son valores de velocidad de pico.

Los valores numéricos dados no deben ser considerados como exactos, pues lo que se hizo fue tomar de cada perfil el valor de la temperatura de pico de una determinada característica, aunque la velocidad no fuese rigurosamente igual en todos los perfiles.

Debemos hacer notar que como no tenemos determinadas las distintas componentes gaussianas que componen un perfil, las curvas a  $V$  constante deben ser consideradas con cierta precaución pues los valores de las componentes se superponen causando perturbaciones entre sí.

Como no tenemos un medio eficiente de separar las componentes esa es la manera que nos pareció más adecuada para presentar las curvas.

### 3.5 Parámetros asociados.

#### 3.5.1 Densidad superficial de hidrógeno.

El número de átomos de hidrógeno neutro por  $\text{cm}^2$  integrado a lo largo de la visual se obtiene a través de la siguiente fórmula (deducida por Van de Hulst, Muller y Oort, 1954).

$$n_H = 1.822 \times 10^{18} \int T_b \, dV$$

donde  $T_b$  está dada en  $^{\circ}\text{K}$  y  $dV$  en  $\text{Km/s}$ .

Esta fórmula es válida cuando se supone profundidad óptica pequeña; en caso contrario, debemos tomar para  $n_H$ :

$$n_H = 1.822 \times 10^{18} T_c \int \tau \, dV$$



donde  $T_c$  es la temperatura cinética y  $\zeta$  la profundidad óptica.

En los casos donde el perfil presentaba componentes fácilmente separables se pudo determinar el valor de  $n_H$ , para esa componente. Este podría calcularse también para el perfil completo, pero no se hizo porque este cálculo no nos daba elementos para un posterior análisis. Las integrales fueron obtenidas con el auxilio de un integrador de áreas.

### 3.5 2 Dispersión y velocidad central

La dispersión de las velocidades de una componente gaussiana está definida por la relación

$$\zeta(V) = \zeta_0 - \frac{(V-V_0)^2}{2\sigma^2}$$

$$\zeta = \frac{(1 - \frac{T_b}{T_c})}{T_c}$$

$T_b$  = Temperatura de brillo

$T_c$  = Temperatura cinética del gas (se supone = 125°K)

$V$  = Velocidad

$V_0$  = Velocidad central de la componente.

Graficamente  $V_0$  está dada por la velocidad pico y  $\sigma$  puede obtenerse tomando el ancho medio de la componente a la altura  $\zeta = \zeta_0 e^{1/2}$ . En el caso que  $\zeta$  sea chico, y esto sucede en general,  $\sigma$  se puede medir a  $0,6 T_p$  máx.

## 4 Características Generales

### 4.1 El hidrógeno local.

En todos los perfiles obtenidos se nota la presencia de una componente, que en la mayoría de los casos aparece aislada con velocidad radial cercana a cero. (todas las velocidades radiales del presente trabajo están referidas al centro local del reposo). Esta caracte-



ristica está presente a todas las latitudes lo que indica que se trata de hidrógeno local.

Para aquellas componentes que aparentemente podríamos suponer están aisladas, es decir, que se trata de hidrógeno proveniente de una sola nube, fue posible calcular la densidad de hidrógeno, como el número de átomos por  $\text{cm}^2$  observables a lo largo de la visual. Los valores encontrados varían entre  $3,7 \times 10^{20}$  y  $8,5 \times 10^{20}$  at/ $\text{cm}^2$ , con un valor medio de 6,5 átomos por  $\text{cm}^2$ .

La dispersión de velocidades en algunos perfiles de esta región, en los que fue posible determinarla, es de 2,5 Km/s, en promedio. Ese valor es el de la dispersión observada. Si le quitamos la dispersión equivalente propia del equipo, obtenemos para la dispersión real del hidrógeno 2,3 Km/s.

Lindblad (1967) en un estudio realizado en la región del antecentro galáctico encontró una característica que identificó como perteneciendo al hidrógeno local. En ese trabajo, realizado en base a resultados de sus propias observaciones y de observaciones de otros investigadores, Lindblad obtuvo una relación velocidad-longitud para esa característica (característica A). A partir de esta relación obtenida para longitudes galácticas entre  $90^\circ \leq l \leq 250^\circ$  Lindblad sugirió un modelo teórico de una nube en expansión o, debido a la baja dispersión en velocidades, una posible cáscara en expansión.

En éste modelo, para valores de  $l$  cercanos a  $310^\circ$ , se ha previsto una velocidad radial de 3 Km/s, mientras que en el presente estudio encontramos velocidades entre 0,5 y 2,0 Km/s, con un promedio de 1,5 Km/s. Como podemos verificar el resultado es bastante satisfactorio, pues a pesar de que el rango en longitud observado es chico, la concordancia entre el modelo y las observaciones es alentadora.



#### 4.2 La característica a -13 Km/s

En los diagramas de temperatura de brillo en función de la velocidad y de una de las coordenadas galácticas podemos observar una concentración de hidrógeno que empieza a surgir en  $l = 303^\circ$  y  $b = 10$  y que se continúa hasta  $l = 310$  y  $b = 8,5$ . Parece constituir una característica general sobre el plano galáctico, algo inclinada con respecto al mismo, y con un máximo en  $l = 305,5$   $b = 9,5$  (Fig. 2 ). Para dar una mejor visualización del hidrógeno que se presenta con la velocidad de -13 Km/s mostramos un diagrama a  $V$  constante para la temperatura de brillo en función de las coordenadas galácticas (Fig. 7 ).

Tanto en los diagramas a  $l$  o  $b$  constantes como en aquél a  $V$  constante el hecho de que esa característica ya no es parte de la estructura propia del plano galáctico es bastante evidente.

A partir de las observaciones obtenidas pudimos notar la existencia de una estructura que concentra una gran densidad de hidrógeno y que ( $b=2$ ) constituye el plano galáctico. El hidrógeno del plano decrece en intensidad a medida que aumentamos el valor de la latitud galáctica; como es de esperarse. Ese decrecimiento tiene un mínimo en aproximadamente  $b = 4^\circ,5$ . Para  $b \approx 8$  se observa que la intensidad empieza a incrementarse otra vez alcanzando su valor máximo de  $b$  entre  $8^\circ,5$  y  $10^\circ$ , valor que depende de la longitud.

Mc Gee y Murray (1961), en un estudio que abarcó casi las dos terceras partes del cielo, no detectaron variaciones de la densidad con respecto a  $b$  tales como las encontramos aquí. En su trabajo, Mc Gee y Murray hicieron un estudio de la variación de  $n_H$  (número de átomos  $\text{cm}^{-2}$ ) a lo largo de la visual con la latitud galáctica para 12 valores distintos de la longitud y en todos los casos la curva decrece a medida que  $b$  crece, o sea, varía como  $\text{lacosec } b$ . Esa entera discrepancia con nuestros resultados talvés tenga una explicación en la baja resolución, tan-



to en frecuencia como angular, del equipo por ellos empleado.

Con el objeto de hallar alguna relación entre los datos encontrados y los datos obtenidos mediante la astronomía óptica se revisó la bibliografía correspondiente. En el Atlas de cúmulos abiertos de G.Alter y J.Ruprecht (1963) no se encontraron objetos en la región de nuestras observaciones. En líneas interestelares encontramos en nuestra región muchas estrellas con líneas de Ca identificadas y medidas (Feast, Thackeray y Wesselink, 1955, 1967; Feast y Thackeray, 1963; Thackeray, 1966) pero en ningún caso pudimos hacer una correlación positiva. En las líneas identificadas por Pouscombe ninguna se encuentra en la región de nuestro estudio.

Así solamente nos queda el modelo de Schmith como único método para obtener una escala de distancias entre el hidrógeno observado y el centro local de reposo. El modelo de Schmidt (Schmidt, 1965) relaciona la distancia con la velocidad para cualquier valor de  $l$  en el plano galáctico, suponiendo que la galaxia tiene movimiento circular de rotación y adoptando los siguientes parámetros.

$R_0 = 10$  Kpc (distancia del sol a centro galáctico)

$W_0 = 25$  Km/s . Kpc (velocidad angular cerca del sol)

El modelo de Schmidt sirve para  $b = 0$ , pero si suponemos que la velocidad observada del hidrógeno es debida a la rotación galáctica entonces se puede proyectar la distancia obtenida sobre el plano; pero como las características  $a$  que nos referimos están a un  $b$  no superior a  $10^\circ$ , y en ese caso  $\cos b \approx 1$ , podemos usar directamente el modelo de Schmidt sin cometer errores apreciables.

Según el modelo de Schmidt, a la velocidad de  $-13$  Km/s y para  $l = 307$  se obtienen dos valores posibles para la distancia,  $r_1 = 1,2$  Kpc y  $r_2 = 11$  Kpc . Podemos despreciar  $r_2$  debido a que nuestros perfiles muestran una dispersión relativamente baja en velocidad y eso sugiere una distancia menor.



En los perfiles de esa característica donde se pudo medir la dispersión e integrar el área, se encontraron los siguientes valores.

$$\bar{v} = 3,0 \text{ Km/s}$$
$$\bar{n}_H = 11,3 \times 10^{20} \text{ átomos cm}^{-2}$$

Si adoptamos para la distancia el valor del 2 Kpc, encontramos que la característica se encuentra a una altura de 160 pc sobre el plano galáctico, y tiene un diámetro aproximado de 50 pc. Esa hipótesis es equivalente a decir que su densidad volumétrica es

$$n_H = 7.0 \text{ átomos cm}^{-3}$$

De la Fig. (10 a ) se puede tener una idea en escala de la característica a -13 Km/s construida de acuerdo a las hipótesis aquí asumidas.

En la Fig. ( 7 ) se puede ver además de la característica general otras pequeñas concentraciones aisladas, bien delimitadas en el espacio, que constituyen lo que se denomina "nubes" de hidrógeno.

#### 4.3 La característica a -20 Km/s

Otra característica general que surge de las observaciones y que puede ser fácilmente identificada en los diagramas a b y a l constante (Fig 4 y 5) es la que presenta una velocidad central aproximada de -20 Km/s. En este caso se hizo también un diagrama de contorno para la temperatura de brillo a V constante (Fig. 8 ) para todos los valores de l y b.

Haciendo un rápido análisis del diagrama de la Fig. 8 se puede observar una doble concentración de hidrógeno. La primera surge en l = 302, b= 5 y se continúa hasta l= 310°, b= 7°; la otra está en



$b \approx 9$  para todos los valores de longitud. Ambas características parecen confundirse en el extremo de  $l = 302$ , esto puede ser real o consecuencia de la interferencia mutua de las dos concentraciones.

Las consideraciones hechas sobre datos ópticos en la sección anterior es válida también para esta característica, o sea, no pudimos encontrar ninguna relación entre la concentración de hidrógeno observada, que parece constituir una estructura por encima del plano, y las líneas interestelares detectables y objetos jóvenes.

Dada la escases de datos sobre el cielo observable desde el hemisferio sur aprovechamos un gentil ofrecimiento del Dr. José Sersic, del Observatorio Astronómico de Córdoba, quien tomó 5 placas fotográficas en los puntos principales de la región en estudio. Las placas obtenidas por Sersic pueden ser vistas en la figura 13. Tampoco pudimos obtener de esas placas relación alguna con nuestros datos.

En el estudio general del hemisferio sur llevado a cabo por Mc Gee, Murray y Milton (1963) se encontraron dos concentraciones a velocidades de  $-21,0$  y  $-24,5$  Km/s con temperaturas de pico de  $44^{\circ}$  K. Esas dos concentraciones están centradas en  $\alpha(1960) = 13^{\text{h}} 21^{\text{m}} \delta = -55^{\circ},9$  y  $\alpha = 13^{\text{h}} 39^{\text{m}} \delta = 56^{\circ},0$ .

Mediante un razonamiento análogo al hecho anteriormente se puede obtener una estimación de la distancia a la que se encuentra esa característica suponiendo que la causa determinante de la velocidad relativa entre la característica y el sol es debida unicamente a la rotación de la galaxia. Bajo esa suposición podemos utilizar el Modelo de Schmidt que nos dá dos valores posibles para la distancia,  $r_1 = 1,5$  Kpc y  $r_2 = 10,5$  Kpc. Esa ambigüedad en distancia una vez más puede ser superada. Como en esa característica los perfiles tienen una dispersión relativamente baja de velocidades,  $\bar{\sigma} = 3,6$  Km/s, es mucho más probable que provenga de regiones más cercanas, pues la antena recibe radiación proveniente de una área que crece con el cuadrado de la distancia y en



ese caso sería razonable esperar que la dispersión también debería crecer con la distancia. En general la dispersión interna de velocidades de las concentraciones de hidrógeno que se determina por las observaciones está entre 5 y 7 Km/s (Kerr y Westerhaut, 1965).

Vamos a considerar por lo tanto que la distancia es de 1,5 Kpc. Para la característica que se encuentra más cercana al plano su altura puede estar entre 140 y 180 parsecs para longitudes entre 310° y 302°. La característica superior se encontraría a una altura de 240 parsecs del plano en el rango de longitudes observadas.

La densidad superficial de átomos de hidrógeno encontrado para las características superior e inferior tiene un valor medio de

$$\bar{\sigma} = 7,9 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$$

Ambas subcaracterísticas tienen aproximadamente 2° de diámetro, lo que equivale a 52 pc. o  $1.6 \times 10^{20}$  cm. De esta forma obtenemos para densidad volumétrica el siguiente valor

$$N_H = 4,9 \text{ át cm}^{-3}$$

En la figura 10 b presentamos un esquema en escala de la característica de -20 Km/s

#### 4.4 La característica a -30 Km/s

Las observaciones en la región estudiada revelan, además de las concentraciones generales a las cuales ya nos hemos referido, otra característica general con velocidad radial del orden de -30 Km/s.

Una vez más el análisis de los diagramas que dan las curvas de igual temperatura en función de la velocidad radial y una de las coorde



nadas galácticas y del diagrama de las temperaturas de brillo en función de  $l$  y  $b$  para la velocidad de  $-30 \text{ Km/s}$  parece indicar que también a esa velocidad existe una diferencia entre el hidrógeno que es constituyente de la estructura del plano galáctico con el hidrógeno que surge a latitudes cercanas a  $6^\circ$ .

En la figura 9 se nota aún la presencia del hidrógeno del plano a latitudes hasta  $3^\circ,5$ . Luego ya se observa una zona de mínimo a partir de la cual surge un nuevo gradiente positivo en el sentido del crecimiento de  $b$ , evidenciando así una nueva capa de hidrógeno por sobre el plano galáctico.

Para las longitudes entre  $307^\circ,5$  y  $310^\circ$  a la latitud  $5^\circ$  (Fig. 9) nos encontramos con la posible presencia de una fuerte concentración aislada; pero probablemente esta primera impresión no sea la más correcta. Como habíamos mencionado antes, la influencia de una característica a una velocidad dada sobre la característica vecina es notable. Por lo tanto una corrección de ese efecto podría llevarnos a la conclusión de que la característica es homogénea en toda su extensión. En la Fig. 9 se puede observar que la forma de la estructura espacial de esa característica es muy peculiar. En el extremo de longitudes menores tiene una conformación de aspecto aparentemente muy compacto dando la idea de tratarse de una estructura bien definida en el espacio. Además presenta una inclinación bastante acentuada con respecto al plano galáctico, subtendiendo un ángulo del orden de  $40^\circ$ .

A continuación la estructura parece doblarse tornándose paralela al plano, y luego vuelve a seguir un rumbo nuevamente inclinado. Si las dos ramas de esa característica forman parte de una sola concentración de hidrógeno entonces su estructura tiene el aspecto de un semicírculo. Probablemente la ampliación del área observada juntamente con el análisis de las componentes gaussianas de los perfiles podrán dar



mejores elementos para la clasificación de la estructura verdadera de esa característica.

La Fig. 9 nos muestra otra concentración que aparece aún en latitudes más altas. Esa concentración parece no tener la forma de una característica general pues no aparece en todos los valores de longitud, constituyendo así una característica particular o sea una concentración aislada de hidrógeno.

Para la característica general a  $-30$  Km/s el modelo de Schmidt nos da dos valores para la distancia,  $r_1 = 2,2$  Kpc y  $r_2 = 9,5$  Kpc. Por razones idénticas a los precedentes vamos a admitir que esa concentración esté en la menor de las distancias que podemos obtener del modelo.

De los perfiles cuya componente de velocidad de  $-30$  Km/s era fácilmente separable pudimos determinar la dispersión de velocidades y la densidad superficial de hidrógeno; los valores medios obtenidos son :

$$\begin{aligned}\bar{O} &= 3,8 \text{ Km/s} \\ \bar{n}_H &= 9,6 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}\end{aligned}$$

Debemos aclarar que tanto en este caso como en los anteriores los valores de  $\bar{O}$  y  $\bar{n}_H$  no deben ser tomados como números muy precisos pues no fueron tomados de la totalidad de los perfiles y además fueron obtenidos por métodos gráficos. Pero son buenos en el sentido que dan una idea relativa y aproximada de esas magnitudes.

La característica de velocidad  $-30$  Km/s tiene un diámetro angular de  $1^{\circ},5$  que bajo la hipótesis de que esté a  $2,2$  Kpc de distancia le corresponde un diámetro de  $57$  pc o de  $1,75 \times 10^{20}$  cm, lo que nos lleva a una densidad volumétrica de

$$N_H = 5,5 \text{ at./ cm}^{-3}$$

Como esa característica se encuentra entre  $5^{\circ}$  y  $6^{\circ},5$  su



altura con respecto al plano estaría entre 190 y 250 parsec. La Fig.10c nos da una proyección en escala de esa característica.

#### 4.5 Consideraciones Generales

Los resultados obtenidos a partir de nuestras observaciones muestran algunas conclusiones que parecen ser novedosas con respecto a las investigaciones de la línea de 21 cm publicados hasta el momento.

Los trabajos mencionados, que cubren casi todo el cielo, indican que la ley de variación de la densidad de hidrógeno sigue en buena aproximación la  $\cos \delta$  de la latitud. Schmit (1957), en base a observaciones hechas en el hemisferio norte, estimó que el plano galáctico estaba constituido por una capa angosta de aproximadamente 220 pc entre puntos de media densidad. Kerr y Westerhaut (1965) afirman que a partir de observaciones de mejor resolución,  $0^{\circ},25$ , hechas con el telescopio de Parkes, el espesor del plano galáctico podría ser reducido a 160 pc. En algunas regiones se encontraron valores aún menores.

En el Atlas de perfiles de 21 cm de Dwingeloo, parte II, Raymond (1966), publicó perfiles de la región  $l = 192^{\circ}$  a  $212^{\circ}$  y  $b = -9^{\circ},5$  a  $8^{\circ},5$ . Esos perfiles no presentan ninguna característica similar a las que se presentan en éste trabajo. Lo que observamos en el Atlas es que para latitudes negativas la intensidad de hidrógeno es mayor que para latitudes positivas.

La tendencia de una mayor concentración de hidrógeno a latitudes negativas es un hecho comprobado para las longitudes comprendidas en nuestro estudio. Este hecho fue confirmado en el Instituto Argentino de Radioastronomía (Garzoli todavía no publicado). Esa mayor densidad en latitudes negativas puede ser una consecuencia de la atracción gravitatoria ejercida por las Nubes de Magallanes, las galaxias más cercanas a la nuestra.



## 5 Características de dimensiones chicas

### 5.1 Nubes de velocidad negativa

En el análisis de perfiles de la línea de 21 cm del hidrógeno neutro a latitudes intermedias y altas se observa un gran predominio de las componentes de velocidad negativa sobre las positivas. Esa tendencia se pone en evidencia en los trabajos de Erickson, Helfer, y Tatel (1959), Mc Gee y Murray (1961), Blaw y Tolbert (1966), Dieter (1964 y 1965), Hulsbosch y Rainond (1966 ).

El presente trabajo no está situado en el rango de latitudes antes mencionadas, pero como ya señalamos al hacer la presentación de datos, la casi totalidad de la radiación observada se encuentra a velocidades negativas, principalmente cuando se trata de perfiles tomados a latitudes iguales o mayores que  $40^\circ$ .

Al hacer el análisis sobre las características generales de velocidad negativa vimos que el hidrógeno se presentaba como una estructura bien delimitada a una altura superior a 100 pc sobre el plano galactico. Pretendemos mencionar ahora algunas características de pequeñas dimensiones angulares. Esas pequeñas concentraciones de hidrógeno, que surgen en un número muy reducido de perfiles en cada caso apesar de que contamos con una red formada por un punto cada  $0^\circ,5$  de grado en ambas coordenadas, pueden ser vistas en los diagramas a 1 o b constante.

Un estudio detallado de esas nubes aisladas no puede ser hecho sin que se haga una buena separación entre la radiación proveniente de la nube y la de la característica general con la que aparece superpuesta.

Algunas de esas nubes que aparecen en los diagramas están dadas en la tabla siguiente.



V (Km/s)	l	b
-46	308 <sup>2</sup> ,5	5 <sup>2</sup> ,5
	308 <sup>2</sup> ,5	6 <sup>2</sup> ,0
	308 <sup>9</sup> ,5	6 <sup>2</sup> ,5
-44	309 <sup>2</sup> ,5	8 <sup>2</sup> ,0
-37	303 <sup>2</sup> ,0	10 <sup>2</sup> ,0
	303 <sup>2</sup> ,0	10 <sup>2</sup> ,5
	303 <sup>2</sup> ,5	10 <sup>2</sup> ,5
	303 <sup>2</sup> ,5	11 <sup>2</sup> ,0 (Tambien en la Fig.1 )
-35	304 <sup>2</sup> ,5	10 <sup>2</sup> ,5
-33	308 <sup>2</sup> ,0	7 <sup>2</sup> ,0
	308 <sup>2</sup> ,5	7 <sup>2</sup> ,5
	308 <sup>2</sup> ,5	7 <sup>2</sup> ,5
	309 <sup>2</sup> ,0	7 <sup>2</sup> ,5

## 5.2 Una nube con velocidad positiva.

Como ya señalamos anteriormente la ocurrencia de concentraciones de hidrógeno fuera del plano, con velocidad positiva, es muy baja con respecto a los objetos de velocidad negativa.

En las Fig.1 - 3 vemos que los perfiles tomados a latitud  $b=2^{\circ}$  presentan del lado de las velocidades positivas, señales de existencia de hidrógeno, pero la radiación registrada pertenece al hidrógeno del plano, que a esa latitud ya tienen muy baja intensidad. Se observa además en esas figuras la total ausencia de hidrógeno para los perfiles obtenidos a latitudes más altas.

Una excepción fue encontrada para longitudes cercanas a  $l=306^{\circ},5$ . Los perfiles pertenecientes a esta región presentan una característica



a 60 Km/s de velocidad radial con un máximo en  $b = 2^{\circ},5$  y que por lo tanto no pertenece al plano galáctico. El perfil  $l = 306,5$   $b = 2,5$  puede ser visto en la figura 3..

Con el objeto de obtener mayor seguridad de que esa concentración no es la continuación de alguna estructura del plano galáctico, se observaron en la longitud  $306^{\circ},5$  los puntos a las latitudes  $0^{\circ},5$  ;  $1^{\circ},0$  y  $1^{\circ},5$ .

En la Fig.11 se pueden ver los diagramas a  $b = 2^{\circ},0$ ;  $2^{\circ},5$  y  $3^{\circ},0$  donde se dan las curvas de temperatura de brillo en función de velocidad y de la longitud galáctica. La figura 12 muestra el diagrama de temperaturas en  $l = 306^{\circ},5$  en función  $b$  y  $V$ . En ese diagrama se puede distinguir perfectamente una característica propia del plano que se encuentra a la velocidad de + 45 Km/s de la concentración que estamos estudiando que está aproximadamente a 60 Km/s.

Como ya señalamos muy pocas concentraciones a velocidades positivas han sido observadas fuera del plano galáctico. En la bibliografía investigada encontramos tres trabajos que se refieren a concentraciones de alta velocidad positiva. Smith (1963) estudió una concentración en  $l = 40^{\circ},5$ ,  $b = -15^{\circ},0$ ; Prata (1964) presenta un análisis de una característica en  $l = 22$ ,  $b = 4,0$ ; finalmente Cugnan (1967) se refiere a una concentración encontrada en  $l = 349^{\circ}$ ,  $b = +3$ .

En los tres trabajos anteriores la dispersión de velocidades es superior a la que encontramos para el punto central de nuestra concentración.

que sigue

En la tabla ) damos los valores de la dispersión, velocidad, densidad superficial para los puntos de cada una de las características a las que nos hemos referido.



	$l$	$b$	$v$ (Km/s)	$V$ (Km/s)	$n_H \times 10^{20}$ átomos/cm <sup>2</sup>
S	40 <sup>o</sup> ,5	-15 <sup>o</sup> ,0	16,4	90,8	2,18
P	22 <sup>o</sup> ,0	- 4 <sup>o</sup> ,0	10,1	114,6	1,86
C	349 <sup>o</sup> ,0	+ 3 <sup>o</sup> ,0	11,2	52,4	4,25
PT	306 <sup>o</sup> ,5	+ 2 <sup>o</sup> ,5	5,5	58,0	4,74

(S= Smith; P= Prata; C= CUGNON; PT= Presente trabajo)

Las interpretaciones hechas para los objetos son en general coincidentes en los tres trabajos y pueden resumirse en:

- a) parte de una cáscara de una supernova o de una "super explosión"
- b) Un objeto extragaláctico
- c) Una nube de alta velocidad
- d) Una brazo espiral distante de nuestra galaxia.

Además de esas hipótesis generales, Cugnan admite que el objeto por él estudiado, pueda ser una característica estructural localizada cerca del plano galáctico.

Nosotros apenas podemos decir que el objeto que observamos tiene mucha similitud con los estudiados anteriormente.

Teniendo en cuenta que la dispersión que encontramos es menor que las dispersiones dado por otros autores podríamos afirmar que el objeto que encontramos probablemente se encuentre más cercano que los tres antes estudiados.



## REFERENCIAS

- Alter G. y Ruprecht J., 1963, The System of Open Star Clusters and Our Galaxy Atlas of Open Star Clusters. Academic Press, N.York.
- Bethe, H., 1933, Hdb. der Phys. (Berlin: Springer-Verlag), 24/1, Cap. 3, p.385.
- Blaauw, A., 1962, en Interstellar Matter in Galaxies, ed. por L.Waltjer.
- Blaauw, A. y Tolbert C.R., 1966, Bull.Astr.Inst.Nether., 18, 405.
- Cugnan, P, 1968, Bull.Astr.Inst.Nether., 19, 363.
- Dieter, N.H., 1964, Astr. J. 69, 288.
- Dieter, N.H., 1965, Astr. J. 70, 552.
- Erickson, W.C., Helfer, H.L. Helfer y Tatel, 1959, Symp. UAI, 9, 390.
- Feast, M.W., Thackeray, A.D. y Wesselink, A.J., 1955, Mem. R. Astr. Soc., 67, 51.
- Feast, M.W., Thackeray, A.D.y.Wesselink,A.J. , 1957, Mem. R. Astr. Soc., 68, 1.
- Feast, M.W. y Thackeray, A.D., 1963, Mem.R.Astr.Soc., 68, 173.
- Garzoli, S.L. 1968 (comunicación privada)
- Habing, H.J., 1966, Bull.Astr.Inst.Nether., 18, 323.
- Heiles, C., 1967, Astrophys. J. Suppl. Vol. 15 No. 136.
- Hulsborch, A.N.M. y Raimond, E, 1966, Bull. Astr.Inst.Nether., 18, 413.
- Van de Hulst, H.C., 1958, Rev.Mod.Physics, 30, 913.
- Kaper, H.G. et al., 1966, Bull. Astr.Inst.Nether. 18, 465.
- Kerr, F.J., 1962, Monthly Notices, 123, 327.
- Kerr, F.J. y Westerhaut, G., 1965, en Galactic Structure, ed. por A. Blaauw y M.Schmidt (Chicago: University Press) p. 167
- Kerr, F.J., 1967, en Nebulae and Interstellar Matter, cap. 12 (Chicago University Press).
- Lindblad, P.O., 1966, Bull.Astr.Inst.Nether., Suppl. Ser. 1, 77
- Lindblad, P.O., 1966, Bull Astr.Inst.Netherlands Suppl.Ser . 1, 177.
- Lindblad, P.O., 1967, Bull.Astr.Inst.Nether., 19, 34.



- Mc Gee, R.X. y Murray, J.D., 1961 Aust.J.of Phys. 14, 260.
- Mc Gee, R.X., Murray, J.D. y Milton, J., 1963, Aust.J.Phys., 16, 136.
- Nafe, J.E. y otros, Phys.Rev. 71, 914.
- Oort, J.H., 1959, Hdb. der Physik, (Berlin: Springer-Verlag)Vol.53 p.100.
- Prata, S.W., 1964, Bull.Astr.Inst.Nether., 17, 511.
- Raimond, E., 1966, Bull.Astr.Inst.Nether. Suppl. Ser. 1, 33.
- Rougooor, G.W., 1964, Bull, Astr.Inst.Nether., 17, 381
- Schmidt, M., 1957, Bull.Astr.Inst.Nether., 13, 247.
- Schmidt, M., 1965, in Galactic Structure, ed. por A.Blaauw y M.Schmidt,  
(University of Chicago Press, Chicago), p. 513.
- Shklovsky, I.S., 1969, Cosmic Radio Waves, Harvard University Press,  
Cambrigte, Mass.
- Smith, G.P., 1963, Bull.Astr.Inst.Nether., 17, 203
- Steinberg, J.L. y Lequeux, J., 1960 Dunod, París. (Radioastronomie)
- Takakubo, K., 1967, Bull.Astr.Inst.Nether., 19, 125.
- Takakubo, K. y Van Woerden, H., 1966, Bull.Astr.Inst.Nether., 18, 488
- Thackeray, A.D., 1966, Mem.R.Astr.Soc., 70, 33
- Van Woerden, H., Takakubo, K. y Braes, L.L.E., 1962, Bull.Astr.Inst.  
Nether., 16, 321.
- Van Woerden, H., 1967 Symp. No. 31 de la UAI ed. por Van Woerden, p.3



## LEYENDAS DE LAS FIGURAS

- Figuras: 1, 2 y 3 - Perfiles típicos de la región estudiada que muestran algunos aspectos de las características generales. En los perfiles  $l = 303,5$ ;  $b = 11,0$  y  $l = 306,5$ ;  $b = 2,5$  se observa además características aisladas a  $V = -35$  Km/s y  $V = +60$  Km/s, respectivamente.
- Figura:4 - Perfiles de comparación. Los perfiles representados por puntos fueron observados con el radiotelescopio del Instituto Argentino de Radioastronomía que son comparados con perfiles del Atlas de Dwingeloo, Holanda. Las características de las antenas y de los receptores son análogas.
- Figura:5 - Diagramas de la temperatura de brillo en función de la latitud galáctica y de la velocidad radial para 17 valores de la longitud galáctica. Las curvas son cada  $5^\circ$  de nuestra escala de temperatura.
- Figura:6 - Diagramas de la temperatura de brillo en función de la longitud galáctica y de la velocidad radial para 21 valores de la latitud galáctica.
- Figuras: 7, 8 y 9 - Diagramas de la temperatura de brillo en función de las coordenadas galácticas para las velocidades  $-13$ ,  $-20$  y  $-30$  Km/s.
- Figura: 10 - Las características generales de velocidad  $-13$  (a);  $-20$  (b) y  $-30$  (c) Km/s. Estas son graficadas en forma esquemática y en proyección. La escala de distancia es la que nos dá el Modelo de Schmidt para la rotación de la galaxia.
- Figuras: 11 y 12 - Diagramas similares a los de las figuras 5 y 6 que



nos muestran una concentración aislada a velocidad  
positiva.











































































































