

## SISTEMA COMPUTACIONAL PARA LA ADQUISICION AUTOMATICA DE DATOS EN LINEA CON UN RADIOTELESCOPIO DE 4 HACES SIMULTANEOS

J. Aparici, J. May, F. Salas y J. Ventura

Departamento de Astronomía  
Universidad de Chile

### RESUMEN

El radiotelescopio en 45 MHz del Observatorio Radioastronómico de Maipú permite la observación simultánea en 8 direcciones distintas. Con el objeto de aprovechar esta ventaja se instrumentó un sistema automático de adquisición de datos que consiste básicamente en 4 canales de recepción, 2 juegos de 4 integradores por pasos, un conversor análogo/digital de precisión, un sistema de "offset" automático y un minicomputador con periféricos. Cabe notar que este sistema aumenta en 4 veces la información obtenida sin comprometer la precisión de las medidas ni la sensibilidad del radiotelescopio. En este trabajo se presenta una descripción del sistema, las características fundamentales que posee y se analiza sobre todo la originalidad de algunas soluciones.

### ABSTRACT

The 45 MHz radiotelescope at the Maipú Radio Astronomy Observatory allows the simultaneous observation from 4 different directions. In order to use this feature, an automatic data acquisition system was developed. Consisting basically on a 4-channel receiver, 2 sets of 4 integrators, a precision analog-to-digital converter, an automatic offset system, and a minicomputer with peripherals. It is worth noting that this system increases 4 times the amount of information obtained without deteriorating the precision of the measurements and the radiotelescope sensitivity. In this work a description of the system, its main characteristics and the originality of some solutions are included.

*Key words:* RADIO SOURCES-GENERAL – INSTRUMENTS

### I. INTRODUCCION

El radiotelescopio en 45 MHz del Observatorio Radioastronómico de Maipú de la Universidad de Chile, es un instrumento de tránsito que consiste en un arreglo de 528 dipolos, interconectados mediante una matriz Butler que permite la observación simultánea en 4 haces (May *et al.* 1979).

Como la primera misión de este radiotelescopio es la de obtener un mapa sinóptico del cielo en el hemisferio sur para esa frecuencia, se vio la necesidad de emplear técnicas que, de acuerdo a los medios de que se dispone, permitan lograr los siguientes objetivos.

*a)* Una manipulación ágil y eficiente de gran cantidad de información.

*b)* Una utilización lo más eficiente posible de un instrumento que es lento por naturaleza y que trabaja en una banda donde la interferencia terrestre crece día a día, a pesar de existir previsiones legales locales que lo protegen.

En la actualidad, hay que digitalizar la información para su procesamiento con el computador, esto implica gran pérdida de tiempo en el largo y tedioso proceso de lectura y codificación digital de la información obtenida. Este proceso puede evitarse, interconec-

tando directamente el receptor con el computador para hacer lo que se llama una adquisición "en línea" con el computador. De esta manera el computador, no sólo realiza la digitalización inmediata de los datos a medida que va llegando la información, sino que también puede encargarse de muchas tareas de control durante la observación, pudiéndose llegar incluso a una observación totalmente automática.

La interconexión o la interrelación entre el computador y el radiotelescopio se puede lograr de muy diversas maneras, dependiendo en gran medida del equipo que se disponga y de la estructura del radiotelescopio. En este trabajo se describe la solución de este problema para el caso específico del Radio Observatorio de Maipú.

### II. DESCRIPCION DEL SISTEMA

Tal como puede verse en el diagrama en bloques de la Figura 1, la etapa detectora de cada canal de recepción, es atendida alternativamente por un doble juego de circuitos integradores cuyas funciones (carga, descarga y lectura) están determinados por un juego de conmutadores comandados en sincronismo con un reloj digital sideral. Un selector digital programable elige secuencial-

mente el canal de lectura. Un voltímetro digital de alta resolución digitaliza el nivel del detector acumulado por cada uno de los integradores. El computador está programado para ingresar e identificar las lecturas del conversor en un régimen de interrupciones, posibilitando además períodos de integración flexible con base en los aportes de integración análoga. Al mismo tiempo, simula automáticamente las funciones de "offset" y postamplificación y con base en ello, maneja los registros en papel por medio de un conversor D/A. Al completarse un período de trabajo adecuado, entrega todos los datos organizados en un formato preestablecido en cinta de papel perforado. Un teletipo que sirve como terminal cumple además funciones de monitor durante la observación. Finalmente, al margen del régimen normal de operación el computador maneja calibraciones periódicas en forma totalmente automática, corrige las fallas de sincronismo que pudieran producirse y procesa los reenganches en caso de falla de energía.

### III. EQUIPO DE ADQUISICIÓN

#### a) *El integrador*

La forma más común de integración en radioastro nomía es un filtro pasabajos de mayor o menor número de etapas RC, cuyo tiempo de integración equivalente muestra una relación con la constante de tiempo RC que varía según el número de etapas.

Este filtro entrega una tensión de salida equivalente a valor medio de la señal de detector, sumada a las componentes de Fourier contenidas en ellas y que esté por debajo de la frecuencia de corte. Aunque muy usado por su simplicidad, presenta inconvenientes más o menos serios; como por ejemplo:

a) En la zona de la frecuencia de corte del filtro se produce un desplazamiento de fase que puede llegar a alterar el perfil de la radio fuente, si esta frecuencia de corte es suficientemente baja.

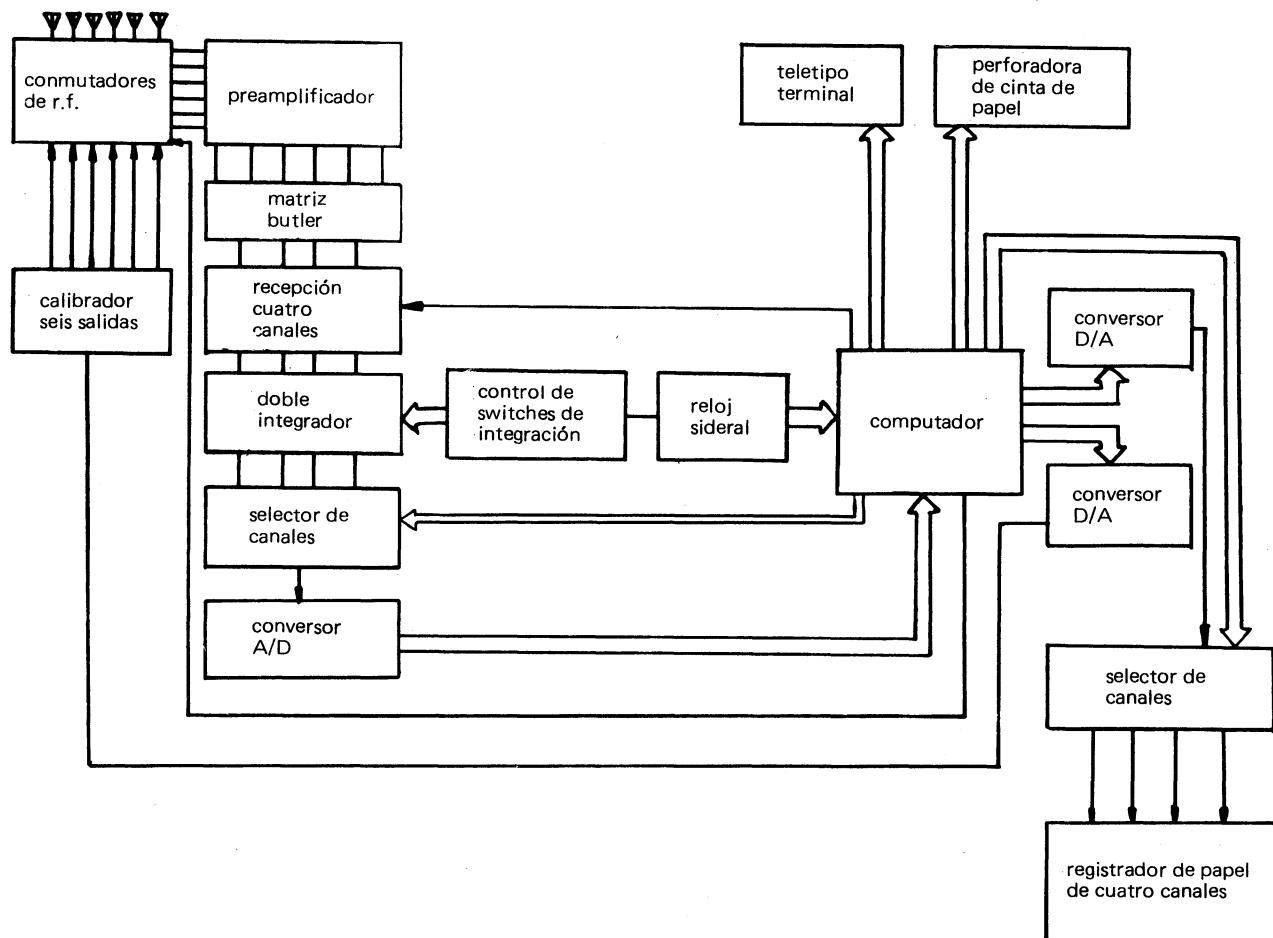


Fig. 1. Diagrama general en bloques del radiotelescopio en 45 MHz.

b) Para períodos de integración prolongados, la elección de componentes y la construcción de este filtro presenta dificultades de consideración. Además, la variación gradual del tiempo de integración se hace difícil.

c) En el caso de un filtro de varias etapas, la atenuación que se produce es considerable ya que ella es una función exponencial del número de etapas.

Para el sistema que se describe, se eligió un método más elaborado cuya función de integración está mucho más definida. Consiste en un circuito integrador construido con un amplificador operacional de buena calidad de tipo comercial.

En el circuito que se ilustra en la Figura 2, la corriente de integración es en todo momento  $V_i/R_i$  independiente del voltaje de salida  $V_o$ , el cual es a su vez

$$V_o = \frac{1}{C R_i} \int_0^T V_i dt .$$

Se desprende de la ecuación que, eligiendo adecuadamente el valor de  $C R_i$  se puede conseguir una amplificación considerable en el periodo de integración deseado. Por otra parte, los conmutadores  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_3$  son circuitos integrados de tecnología MOS (DC 4066C) que permiten detener la integración al final del periodo, conectar el circuito de lectura en el momento adecuado y descargar el condensador para el próximo periodo de integración. Las excelentes características de aislación de estos conmutadores ( $> 10^{10}$  ohms) permiten conservar satisfactoriamente el nivel integrado por un tiempo de hasta 10 segundos.

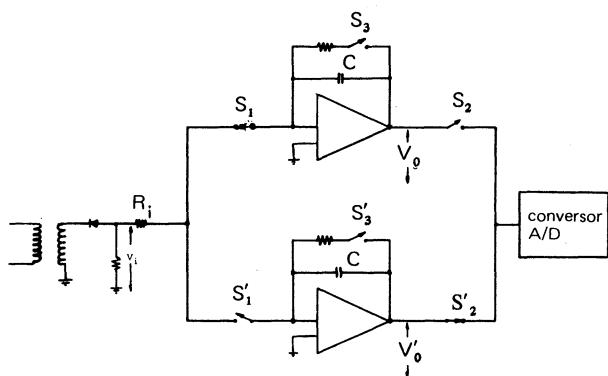


Fig. 2. Doble circuito de integración.

### b) El conversor A/D

La misión de obtener un mapa sinóptico del cielo que tiene el radiotelescopio en 45 MHz, implica la necesidad de seguir, no sólo el perfil relativo de temperaturas de

antena durante el período de observación, sino también el valor del nivel total. Por otra parte, como en todo instrumento de tránsito las observaciones son necesariamente lentas, resulta especialmente interesante la idea de obtener toda la información posible en un solo barrido. Esto implica el uso de un proceso de adquisición que conserve el perfil de las variaciones pequeñas que definen las radiofuentes sin alteraciones apreciables. Para lograrlo es necesario hacer la conversión análoga digital con una gran resolución y una alta estabilidad durante el tránsito de la radiofuent (20 minutos). A modo de ilustración, conviene aclarar que la magnitud de una radiofuent puede fácilmente representar el 1% o menos del nivel básico de la temperatura del cielo en donde se encuentra, lo cual significa que se necesita resolver al menos 5 cifras decimales en la medida. Los voltímetros digitales del tipo de integración, cuya resolución aumenta proporcionalmente con el tiempo de lectura, son los únicos instrumentos que cumplen este requisito. Al quedar así excluidos los conversores A/D usuales de lectura rápida, aparece un inconveniente que es el aumento del tiempo muerto de observación durante la lectura que, sumado al tiempo de descarga de los integradores, afectaría en forma importante la sensibilidad astronómica del radiotelescopio. Para solucionar este problema, se recurrió al uso de un doble juego de integradores conectados como se ilustra en la Figura 2.

En esta forma, mientras uno de los integradores recoge la información del detector, el otro es leído con el voltímetro y luego descargado para reemplazar a su gemelo en el próximo ciclo de integración. Así, no se pierde información ni se afecta la sensibilidad del instrumento.

### c) Lectura secuencial

Una de las ventajas principales del método recién descrito, es que libera un tiempo igual al de integración para efectuar operaciones de lectura y transferencia. Como en el presente caso la naturaleza de las medidas permiten que el tiempo de integración sea un múltiplo importante del de lectura, ello nos permite ingresar la información de los cuatro haces del radiotelescopio usando un solo conversor y un solo canal de acceso al computador.

Tal como se ilustra en la Figura 3, cada uno de los canales cuenta con un doble circuito de integración, de tal manera que los cuatro canales cambian de integrador simultáneamente cada cinco segundos siderales. Una vez por segundo el voltímetro interrumpe al computador anunciando que ha terminado una lectura y el computador atiende la interrupción con primera prioridad, realizando operaciones de reinicialización, ingreso, identificación y verificación de la lectura. Así continúa atendiendo las interrupciones del voltímetro, hasta que una señal de control enclavada en el cuarto segundo sideral detiene el ciclo de lectura y comienza el proceso

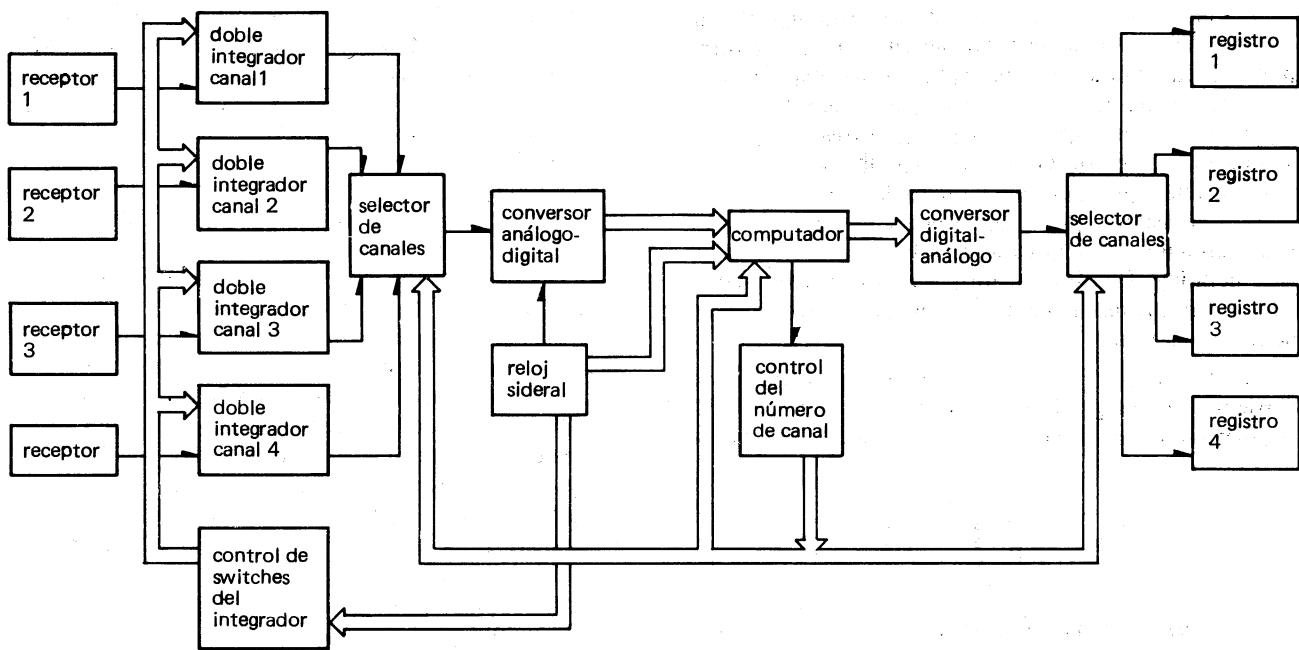


Fig. 3. Diagrama en bloques del sistema de adquisición en línea de tiempo compartido.

de descarga de los integradores. Con la llegada del quinto segundo sideral se cambia al otro juego de integradores que estaba recibiendo la información de los detectores reemplazándolo por el juego recientemente descargado y se repite el proceso.

Cabe hacer notar que con este sistema de tiempo compartido, no sólo no se pierde información, sino que además las lecturas de los cuatro canales corresponden al mismo tiempo, que es el momento en que se detuvo la integración.

El procedimiento de integración recién descrito, representa sólo la unidad o intervalo básico. El "software" del computador puede elegir un múltiplo tan grande como se desee de este intervalo, como tiempo de integración final de los datos codificados que se entregan en cinta de papel perforado. En esta forma, se logra una gran flexibilidad en cuanto a la elección de la constante de tiempo de integración, acotada sólo por este intervalo que representa el tiempo mínimo de integración.

#### IV. LOS LENGUAJES DEL "SOFTWARE"

La unidad central de este sistema es un minicomputador Hewlett Packard modelo 2114 B, equipado con 64 Kbytes de memoria de ferrita y una capacidad para 24 canales de entrada y salida.

Aunque también puede trabajar en lenguaje FORTRAN y ALGOL, se prefirió el uso del lenguaje BASIC por las siguientes razones:

a) El "software" de BASIC opera como un intérprete

residente en memoria y es el único que puede operar como un sistema autónomo sin equipo accesorio de almacenamiento masivo, pues cumple también funciones de editor y supervisor.

b) Es flexible y simple de operar incluso para personas poco experimentadas en programación.

c) Uno de los comandos de BASIC permite transferir el control a subrutinas en lenguaje ASSEMBLER que se anexan al sistema normal. En esta forma se resuelven los problemas de tiempo y de control de periféricos que no pueden resolverse directamente en BASIC.

d) El lenguaje BASIC aparece como el de uso más frecuente entre los microcomputadores y por lo tanto ofrece ventajas de compatibilidad con respecto a expansiones simples y de bajo costo para este sistema.

#### V. EL REGISTRO Y EL "OFFSET"

Como la mayoría de las radiofuentes representan sólo una fracción pequeña de la temperatura de fondo del cielo, que a su vez varía entre unos 3°K y 55°K, se hace necesario un proceso de postamplificación después de la etapa detectora para poder ver con más detalle el perfil de temperaturas. Sin embargo, tanto la amplificación como el registro serían una tarea difícil si se intentaran en el nivel completo, por lo que se procede a usar un "offset", es decir, a neutralizar el umbral o nivel básico sobre el cual está la información que se quiere obtener. En seguida esta información se amplifica y se registra en inscriptores. Es muy común que esto se logre contra-

poniendo una fuente variable muy estable antes de amplificar, la cual se va ajustando con un potenciómetro de gran resolución cada vez que se alcanzan los extremos de la escala de inscripción de la señal. Este método requiere de una constante atención por parte del operador, sobre todo si la pendiente del fondo galáctico y la ganancia son altos.

En el sistema que se describe, se ha entregado el control de la inscripción y postamplificación al "software" del computador, aprovechando las ventajas que ofrece la lectura digital de alta resolución con que se ingresan al computador los niveles integrados de la señal del detector.

Si se reflexiona un poco sobre las funciones que cumplen el "offset" y el postamplificador de ganancia G en condiciones de operación ideales, puede concluirse que lo que hacen es dividir la escala de lectura en intervalos discretos iguales, cada uno de los cuales aparece cubriendo una escala completa del inscriptor. En otras palabras, la escala de lectura aparecería en un registro de ancho aparente G veces mayor que el que se está usando (véase Figura 4).

EL = escala de lectura máxima

EI = escala de deflexión máxima de inscripción

I = EL/G = intervalo

FE = EI/EL = factor de escala.

En principio, si las deflexiones así calculadas se entregan al inscriptor a través de un conversor D/A de regular calidad, se obtiene una función de amplificación de "offset" muy simple y de gran precisión. En ésta, toda la precisión y estabilidad del registro dependen fundamentalmente de la aritmética del computador y de la precisión y estabilidad en el proceso de lectura e ingreso de datos al computador. Los errores del conversor y de la inscripción sólo afectan al intervalo o al incremento de señal amplificado y resultan insignificantes.

Aunque no cabe la menor duda que este método tiene indiscutibles ventajas con respecto al "offset" análogo o manual, hay que considerar un detalle que debe corregirse para que no se transforme en un inconveniente serio. La transición de un intervalo a otro dada por la aritmética es extremadamente abrupta y tiende a producir una serie de saltos de avance y retroceso debido a

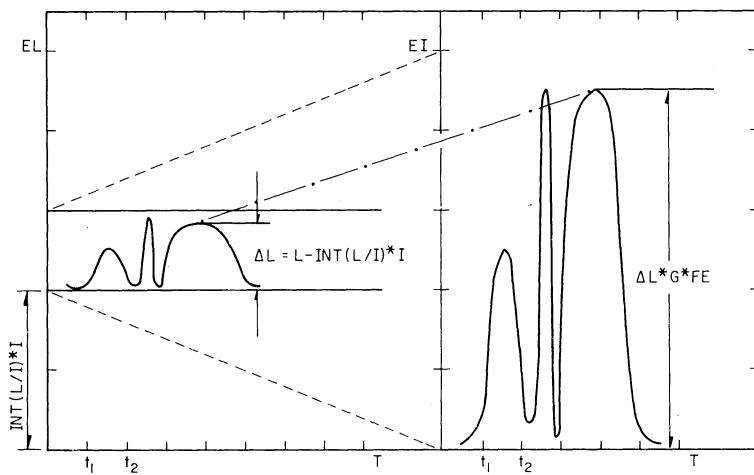


Fig. 4. Detalle de operación del "offset".

La operación descrita también puede lograrse con el computador haciendo uso de operaciones aritméticas corrientes y de la función INT o parte entera de una expresión. Así se tiene que la deflexión del inscriptor estaría dada en cada momento por la ecuación.

$$D = (L - \text{INT}(L/I) * I) * G * FR ,$$

en que:

D = deflexión del inscriptor

L = lectura del voltímetro digital

G = ganancia del "offset"

las pequeñas variaciones erráticas contenidas en la señal. Esto es mucho más notorio cuando la pendiente del perfil de temperaturas que se está registrando es bajo o cuando la ganancia del offset es grande. Con el fin de evitar este inconveniente, el programa debe decidir cuando autoriza la transición haciendo comparaciones con respecto a un porcentaje de margen que el operador entrega al computador de acuerdo con sus necesidades.

Para porcentajes de margen pequeño, esta operación puede hacerse ventajosamente y sin deterioro apreciable del registro, simplemente conservando el valor extremo de la escala de registro anterior hasta que los valores del nuevo intervalo traspasen el valor del margen estable-

cido. Sin embargo, al usar ganancias grandes, las variaciones erráticas o ruido en la información comienzan a ser una fracción importante del intervalo que se registra y debe emplearse un criterio de posiciones relativas. Ello se logra aplicando a la deflexión calculada incrementos o decrementos de valor fijo iguales al valor del margen, cada vez que la inscripción toque el límite superior o inferior de la escala de registro, respectivamente. En este método el computador debe llevar también un registro del valor acumulado de incrementos y decrementos a fin de hacer ajustes cada vez que este valor sea mayor que un intervalo.

Para el caso del instrumento de cuatro canales que se ha descrito en este trabajo, el mismo conversor digital/análogo va atendiendo en forma sucesiva a los cuatro canales de registro (véase Figura 3), mediante un selector de canales sincronizados con el selector de adquisición. Los cuatro inscriptores están conectados a un circuito de memoria capacitiva que se refresca cada vez que se recoge un nuevo dato en el canal respectivo, esto es, una vez cada 5 segundos.

#### VI. CONCLUSION

Un minicomputador HP 2114B maneja automáticamente

mente observaciones en cuatro haces simultáneos hechas con el radiotelescopio en 45 MHz en Maipú.

La información digitalizada se entrega en papel perforado codificado en un sistema de punto flotante y en registro amplificado de papel para su posterior reprocesamiento.

El sistema ha trabajado en forma confiable y eficiente durante meses con resultados satisfactorios.

Los autores agradecen la ayuda prestada por el Observatorio Europeo Austral que ha facilitado gentilmente parte del equipo usado en este sistema y al servicio de Desarrollo Científico, Artístico y de Cooperación Internacional de la Universidad de Chile cuyo financiamiento hizo posible la construcción e instalación del radiotelescopio en 45 MHz.

#### REFERENCIAS

- May, J., Reyes, F. y Aparici, J. 1979, en *Primera Reunión Astronómica Regional Latinoamericana*, eds. A. Gutiérrez-Moreno y H. Moreno. *Publ. Depto. Astron., Univ. Chile*, III, 198.

Juan Aparici, Jorge May, F. Salas y J. Ventura: Departamento de Astronomía, Universidad de Chile, Casilla 36-D, Santiago, Chile.