

## CALIBRADOR PROGRAMABLE Y AUTOMATICO PARA RADIOFUENTES EN 45 MHz

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

Departamento de Astronomía  
Universidad de Chile

### RESUMEN

Se describe el diseño, construcción y operación de un calibrador de diodos saturados controlados a través de un sistema de realimentación indirecta y un conversor digital/análogo. Se analizan las ventajas que lo distinguen de diseños similares, como por ejemplo, gran resolución en la escala de calibración, buena estabilidad, calibraciones casi instantáneas, conexión y desconexión a través de conmutadores electrónicos balanceados, etc.

### ABSTRACT

The design, construction and operation of a standard calibrator is presented. The calibrator consists of saturated diodes controlled by an indirect feed-back system and a digital-to-analog converter. The advantages over similar designs are described, as for instance, high-resolution in the calibration scale, good stability, very fast calibrations, use of balanced electronic switches, etc.

**Key words:** RADIO SOURCES-GENERAL – INSTRUMENTS

### I. INTRODUCCION

Como es bien sabido, en el rango de frecuencias de la banda métrica y decamétrica los diodos de ruido saturados constituyen un patrón secundario de ruido adecuado para calibrar observaciones de radio (Kraus 1966). Sin embargo, normalmente la precisión de las calibraciones se ve limitada por las dificultades para controlar y mantener en forma estable la corriente de placa de estos diodos.

Las observaciones con el radiotelescopio en 45 MHz del Observatorio Radioastronómico de Maipú (May *et al.* 1979) requieren de un calibrador que además de resolver estas dificultades cumpla con las siguientes características:

*a)* Que pueda ser manejado por un computador en forma simple, eficiente y rápida.

*b)* Que tenga seis fuentes iguales y coherentes.

En este trabajo se describe un generador que cumple con estos requisitos.

### II. GENERADOR DE RUIDO

En los diodos de ruido la potencia espectral o la temperatura equivalente generada está dada por la expresión:

$$T = K I_0 R + T_0,$$

donde  $K$  es constante,  $I_0$  es la corriente de placa del diodo, y  $R$  es la resistencia de carga del diodo.

Esto significa que midiendo y ajustando la corriente continua que circula por el diodo, se mide y se ajusta indirectamente la energía de ruido generada, con bastante simplicidad.

De la inspección de las curvas que se ilustran en la Figura 1 se concluye que, una vez alcanzada la saturación, sólo el voltaje de filamento determina la corriente de placa del diodo y esto ocurre como una función bastante abrupta. Por otra parte, se comprueba experimentalmente que si se fija la corriente de filamento por medio de una fuente de corriente constante, se nota una deriva de acomodación de la corriente de placa relativamente lenta, debido a que la temperatura y resistencia

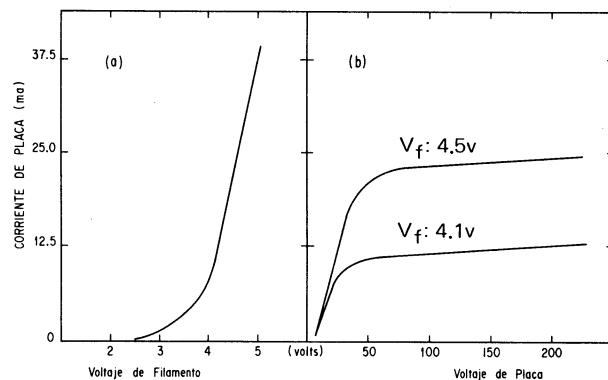


Fig. 1. *a)* Curva característica de corriente de placa vs. voltaje de filamento para el diodo 5722 con tensión de placa de 130 volts constante. *b)* curva característica de corriente de placa vs. voltaje de placa para el mismo diodo a voltaje de filamento constante.

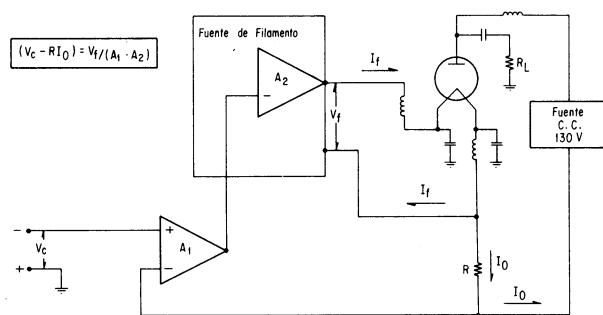


Fig. 2. Esquema simplificado del circuito de regulación de la tensión de filamento.

del filamento busca su condición de equilibrio. Más o menos lo mismo ocurre cuando se fija el voltaje constante. Si a este inconveniente agregamos las dificultades de regulación debidas a la forma abrupta de respuesta del filamento (Figura 1a) resulta que es difícil hacer calibraciones precisas por este método.

Una nueva solución que demostró un comportamiento mucho más estable es la que se ilustra simplificadamente en la Figura 2. En este esquema, la regulación de la fuente de filamento se establece por medio de un lazo de realimentación negativa que se cierra indirectamente a través de la corriente de placa del diodo saturado. Esto

significa que el circuito de realimentación negativa mantiene constante la corriente de placa  $I_0$ , compensando las variaciones del circuito que tratan de alcanzar su valor de régimen mediante variaciones opuestas aplicadas al voltaje de filamento.

Un amplificador diferencial de ganancia  $A_1 \approx 100$  interviene en el lazo, comparando la caída de tensión en  $R$  con la tensión de control  $V_c$  que se toma como referencia. En esta forma el circuito encuentra su equilibrio cuando la diferencia entre ambas tensiones, se hace igual a  $V_f / (A_1 \times A_2)$ , lo cual representa un valor absolutamente inapreciable. Se obtiene así un circuito que tiene la doble ventaja de fijar, en forma rápida y estable, los valores de corriente de placa  $I_0$  que determina el voltaje de control  $V_c$  y de establecer una dependencia lineal entre esta corriente  $I_0$  del diodo y la tensión de control  $V_c$ .

Estas condiciones resultan ideales para construir un calibrador programable, ya que basta con generar la tensión de control mediante un conversor digital/análogo manejado por un computador, para lograr este objetivo en forma simple y eficiente. Si consideramos además que un conversor D/A con una palabra digital de entrada de 1 byte permite una resolución de 255 pasos, vemos que se ha obtenido así un calibrador con características difíciles de lograr aun con métodos más sofisticados y costosos, e.g. usnado atenuadores programables.

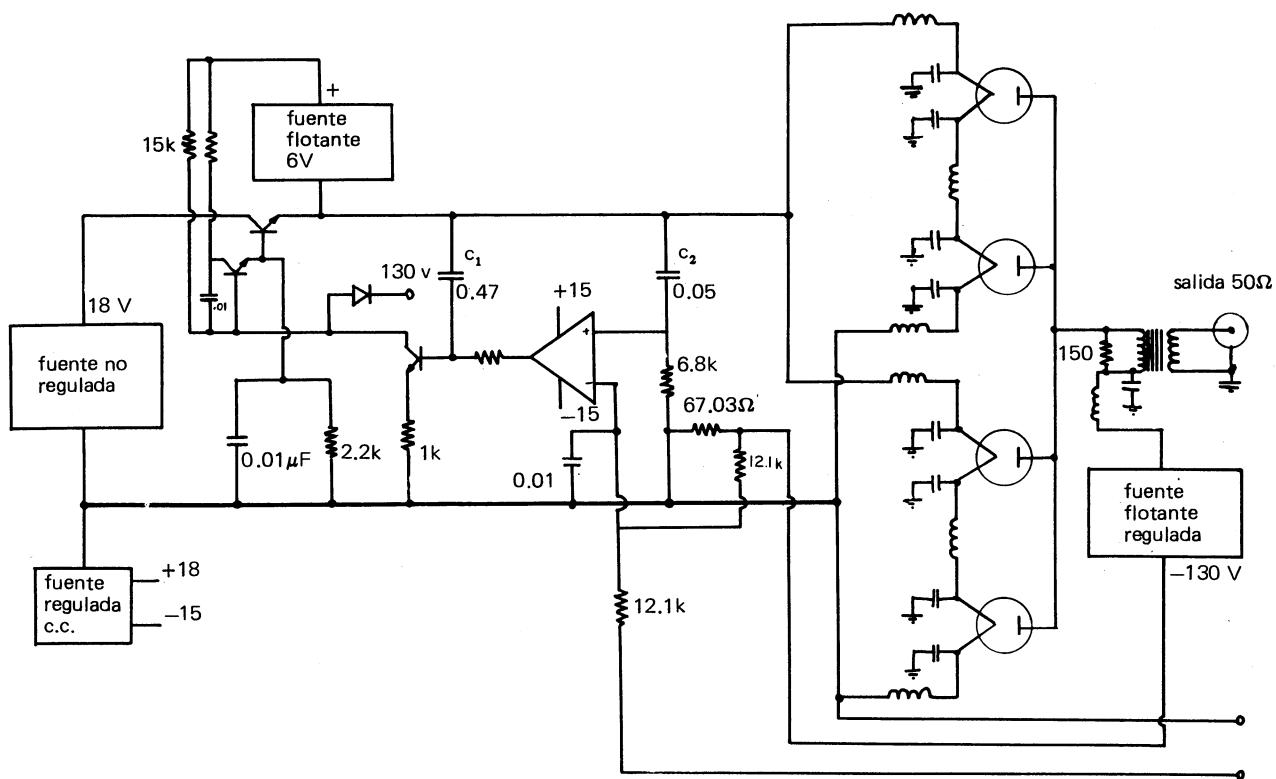


Fig. 3. Diagrama esquemático completo del generador de ruido.

En la Figura 3 se da un esquema completo del circuito de este calibrador que se encuentra actualmente operando satisfactoriamente las calibraciones automáticas periódicas del radiotelescopio en 45 MHz de Maipú.

Los condensadores  $C_1$  y  $C_2$  que se agregan para evitar las oscilaciones debidas al retardo en la respuesta térmica del filamento, determinan un tiempo de estabilización y ajuste menor de 1 segundo. En todo caso este tiempo puede ser aun menor si la diferencia entre dos niveles sucesivos de corriente de placa de los diodos es pequeña.

Los condensadores  $C_1$  y  $C_2$  que se agregan para evitar las oscilaciones debidas al retardo en la respuesta térmica del filamento, determinan un tiempo de estabilización y ajuste menor de 1 segundo. En todo caso este tiempo puede ser aun menor si la diferencia entre dos niveles sucesivos de corriente de placa de los diodos es pequeña.

### III. SISTEMA Y CALIBRACION

Con el fin de dividir la energía de salida del generador de ruido en seis fuentes iguales y coherentes, se emplearon 3 divisores de potencia especiales de banda

ancha de tipo comercial que producen desplazamientos de fase y asimetrías entre las salidas de muy escasa importancia (Mini Circuits PSC-3-1 y PSC-2-1). Tal como se ilustra en la Figura 4, las seis salidas coherentes de ruido que así se obtienen, se conectan a la entrada de los preamplificadores de cada uno de los 6 grupos que forman la antena, mediante un conmutador electrónico balanceado construido con diodos de RF del tipo MPN 3401 cuyo circuito se ilustra en la Figura 5.

Este conmutador se ha diseñado para obtener una aislación muy fuerte cuando desactiva la antena (40 db) usando un doble juego de diodos en oposición de tal manera que un par se abre y el otro establece un cortocircuito. El circuito que desconecta el calibrador no se ha cuidado tanto porque en condiciones normales de operación el generador de ruido permanece inactivo.

En el período de calibración el computador opera un relé que invierte la tensión de control del conmutador habilitando el circuito de RF de calibración y deshabilitando el circuito de antena. Luego fija los niveles del voltaje de control del generador que el programa establece a través del conversor digital analógico, volviendo finalmente a la condición normal de trabajo.

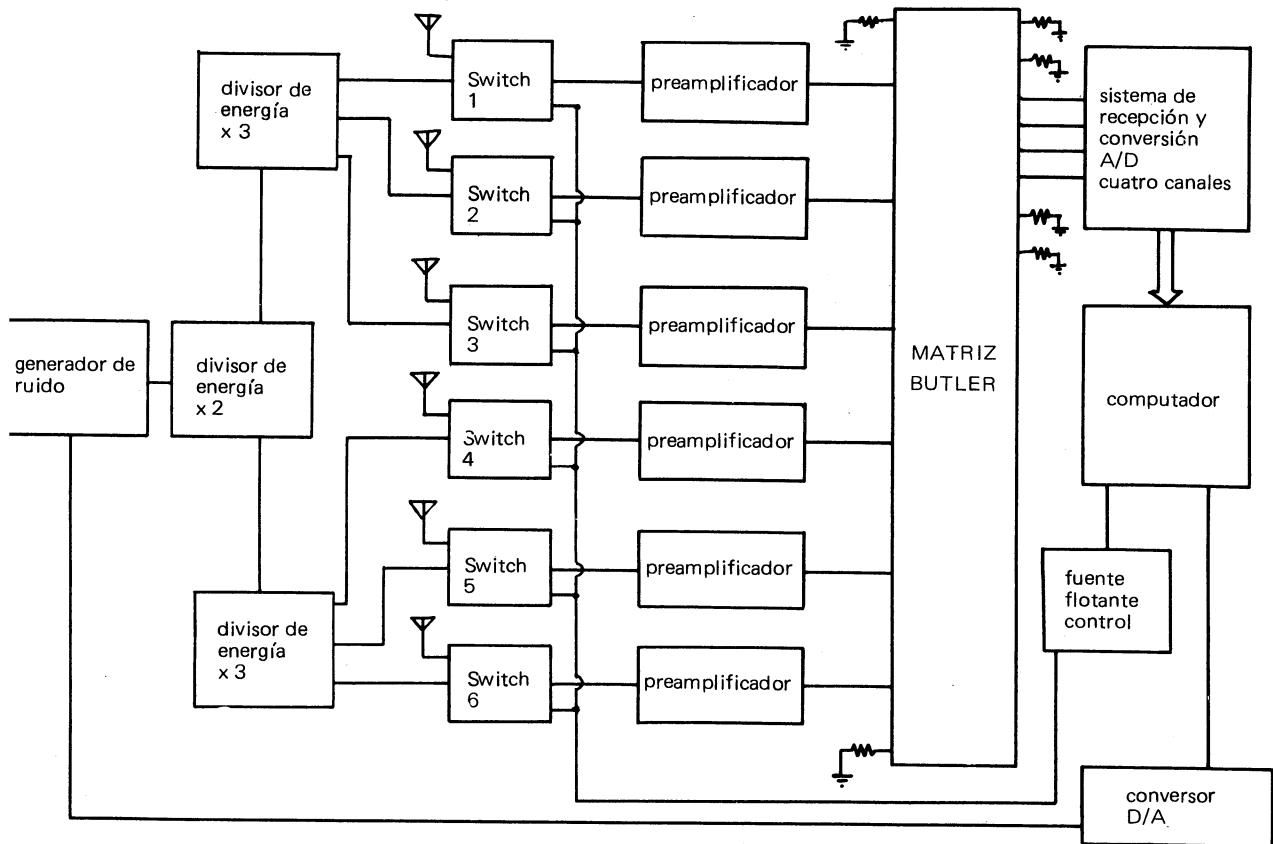


Fig. 4 Diagrama en bloques del sistema de calibración.

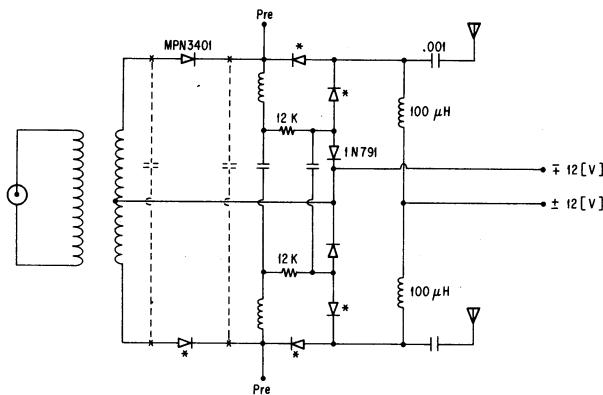


Fig. 5 Circuito del conmutador electrónico balanceado. Los diodos marcados con asterisco son del tipo MPN 3401.

En este método de calibración, las seis salidas coherentes del generador de ruido simulan un frente de ondas de un ángulo que depende de las relaciones de fase que existe entre ellas. Esta es una diferencia sustancial con respecto a los métodos convencionales en que el generador de ruido representa simplemente una fuente térmica de resistencia  $R$  igual a la resistencia de radiación de antena.

La matriz Butler que interconecta los seis grupos que forman el arreglo del radiotelescopio combina la energía recogida de tal manera que en cada una de las salidas se obtienen haces de distinta orientación (Figura 6).

Aplicando entonces una relación de fase adecuada a las seis salidas del generador de ruido se logra calibrar cada uno de los lóbulos. Sin embargo, no es estrictamente necesario calibrar cada uno de los lóbulos ya que teóricamente todos tienen la misma amplitud y bastará con referir la energía recogida por cada uno de ellos a los niveles de calibración del haz que está en calibración.

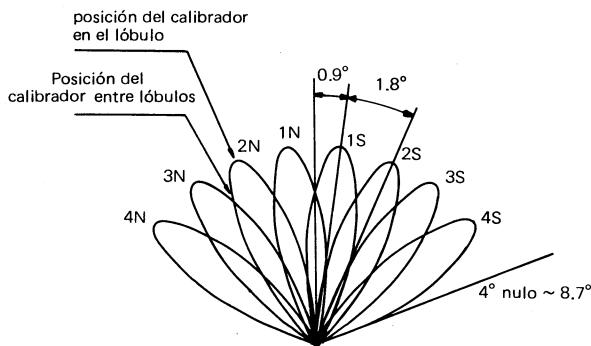


Fig. 6. Superposición de los lóbulos de radiación de las distintas salidas de la Matriz Butler.

Aunque la matriz Butler es un circuito pasivo, hay múltiples razones de orden práctico que hacen necesario corregir la calibración con un coeficiente adecuado que se mide para cada lóbulo. Por otra parte, se ve que los mejores resultados se obtienen aplicando una relación de fase al calibrador que caiga entre dos lóbulos. En esta forma se obtiene una calibración directa en dos canales del radiotelescopio simultáneamente.

#### IV. CALIBRACIONES ALTERNADAS

Cuando las constantes de tiempo de integración del radiotelescopio son grandes y las calibraciones frecuentes como en el caso que se analiza, se encuentra que el tiempo total usado para calibraciones es una fracción importante del tiempo de observación.

Para lograr este objetivo, el programa alterna los ciclos de integración análoga que componen el tiempo total de integración del radiotelescopio (Aparici *et al.* 1981), e interpola los intervalos de datos que faltan en cada función.

#### V. CONCLUSIONES

El generador de ruido programable de estabilización rápida construido en Maipú, con base en diodos saturados, se encuentra funcionando satisfactoriamente. En observaciones efectuadas con el radiotelescopio en 45 MHz durante el período de 6 meses en que se han obtenido los resultados preliminares, se han intercalado calibraciones periódicas cada 1/2 horas. Los resultados han demostrado un funcionamiento estable y confiable con niveles que se fijan con una repetitividad mejor que el 1%.

Los autores agradecen el financiamiento prestado por el Servicio de Desarrollo Científico, Artístico y de Cooperación Internacional de la Universidad de Chile que hizo posible el diseño y construcción de este instrumento.

#### REFERENCIAS

- Aparici, J., May, J., Salas, F. y Ventura, J. 1981, *Rev. Mexicana Astron. Astrof.* 6, 367.
- Hubbard, J.R. y Erickson, W.C. 1967, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. AP-15, No. 2.
- Kraus, J.D. 1966, *Radio Astronomy* (New York: McGraw-Hill), p. 285
- May, J., Reyes, F. y Aparici, J. 1979, *Primera Reunión Regional Astronómica Latinoamericana*, Eds. A. Gutiérrez-Moreno y H. Moreno, Pub. 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.