

EL RADIOTELESCOPIO DE CENTELLEO INTERPLANETARIO MEXART: DISEÑO Y CALIBRACIÓN USANDO OBSERVACIONES DE FUENTES DE RADIO ESTELARES

Armando Carrillo-Vargas {1}, Américo González-Esparza {1}, Ernesto Andrade Mascote {1}, Román Pérez-Enríquez {2}, Stanley Kurtz {3}, Solai Jeyakumar {4} y Celso Gutiérrez {5}.

{1} Instituto de Geofísica, UNAM, armando@geofisica.unam.mx, {2} Centro de Geociencias, UNAM, {3} Centro de Radioastronomía y Astrofísica, UNAM, {4} Departamento de Radioastronomía, Universidad de Guanajuato, y {5} Departamento de Electrónica, INAOE.

Resumen: En este trabajo se presenta el proyecto del observatorio de centelleo interplanetario ubicado en Coeneo Michoacán y su radiotelescopio. Se presentan los principales objetivos científicos, los aspectos relevantes del instrumento, las características principales de los subsistemas electrónicos que integran el telescopio. Además, se presentan observaciones características de las fuentes de radio más intensas que son detectadas por el radiotelescopio y que se usan en la calibración integral de éste.

La actividad de Sol puede inducir severas variaciones denominadas *tormentas geomagnéticas*. Actualmente sabemos que una gran variedad de sistemas: de telecomunicaciones, transformadores, gasoductos, satélites, etc., pueden ser afectados severamente por la actividad solar [1]. El proyecto de construcción del radiotelescopio tiene como objetivo principal estudiar las estructuras transitorias de gran escala que se propagan en el viento solar.

La técnica que se usa para estudiar el viento solar se denomina *centelleo interplanetario*, **CIP**. La técnica implica el estudio de las fluctuaciones que presenta la intensidad de señal de una fuente de radio captada por un radiotelescopio, que son producidas al interactuar los frentes de onda electromagnéticos con las irregularidades en la densidad electrónica presentes en las estructuras de gran escala de origen solar que se propagan en el medio interplanetario [2]. En la figura 1 se presenta un bosquejo de la geometría involucrada para aplicar la técnica del CIP.

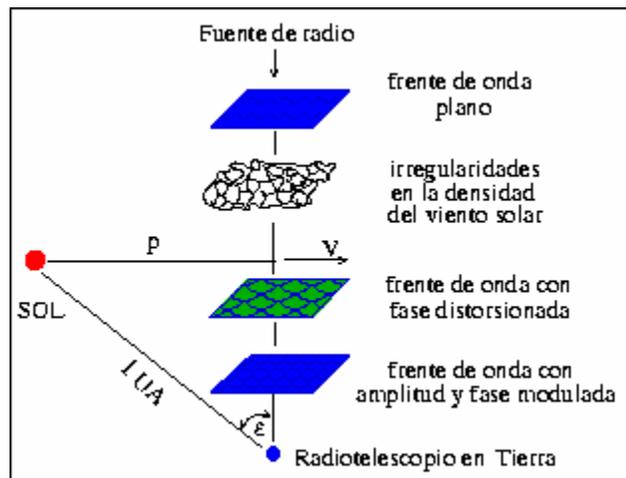


Figura 1. Bosquejo de la geometría que involucra el estudio de las estructuras transitorias de gran escala que se propagan en el viento solar empleando la técnica del centelleo interplanetario.

El instrumento empleado para detectar el centelleo interplanetario es un tipo de radiotelescopio con gran sensibilidad, y con capacidad de cobertura muy amplia del cielo. El instrumento se conoce como el *Mexican Array Radio Telescope*, **MEXART**. El radiotelescopio se encuentra en el

Observatorio de Centelleo Interplanetario que se localiza en Coeneo, ($19^{\circ} 48' 49''$ latitud, W $101^{\circ} 41' 39''$ longitud, 1974 m SNM), Michoacán. Información detallada de la infraestructura con la que cuenta el observatorio se puede consultar en [3]. Los subsistemas básicos que integran el radiotelescopio son: la antena, el subsistema de amplificación de bajo ruido, el sistema de filtros, sistema de generación y control de lóbulos (matriz de Butler [4], [5] y [6]), el subsistema de receptores, y un sistema adquisidor de datos, ver la figura 2.

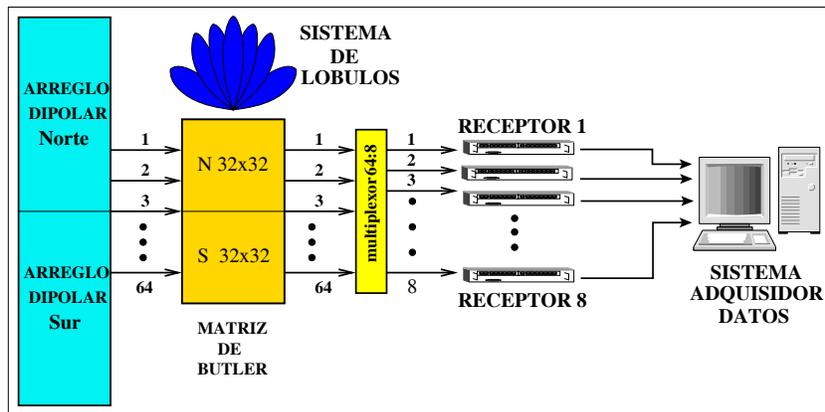


Figura 2. Esquema a bloques de los subsistemas que integran el radiotelescopio de centelleo interplanetario, MEXART.

La antena consiste de un arreglo rectangular planar conformada con 4096 dipolos cubriendo un área física total de 9500 m^2 . El arreglo tiene en la dirección este-oeste una longitud de 140 m, y en la dirección norte-sur mide 80 m. La unidad básica de la antena lo conforma un arreglo colineal de 16 dipolos, polarizados horizontalmente en la dirección Este-Oeste. Integrando colinealmente 4 subarreglos se forma una *Línea* con 64 dipolos. Sumando la señal de los subarreglos en una configuración tipo árbol, ver figura 3. El sistema frontal del radiotelescopio lo conforma un sistema de amplificación de bajo ruido de la serie ZFL-500 de MiniCircuits con una ganancia de 28 dB y una figura de ruido (NF) de 2.9. [7]), un sistema de filtros paso-altas con una frecuencia de corte de 67 MHz y un filtro pasa-banda a 139.65 MHz con ancho de banda de 15 MHz, La suma de la señal de cada subarreglo se realiza empleando combinadores de potencia de la serie (ZFCS-2-1W [7]) para el acoplamiento y transmisión de la señal se emplean líneas de cable coaxial (RG/8, Belden 9913). Un esquema a bloques de la configuración de cada *Línea* del radiotelescopio se muestra en la figura 3.

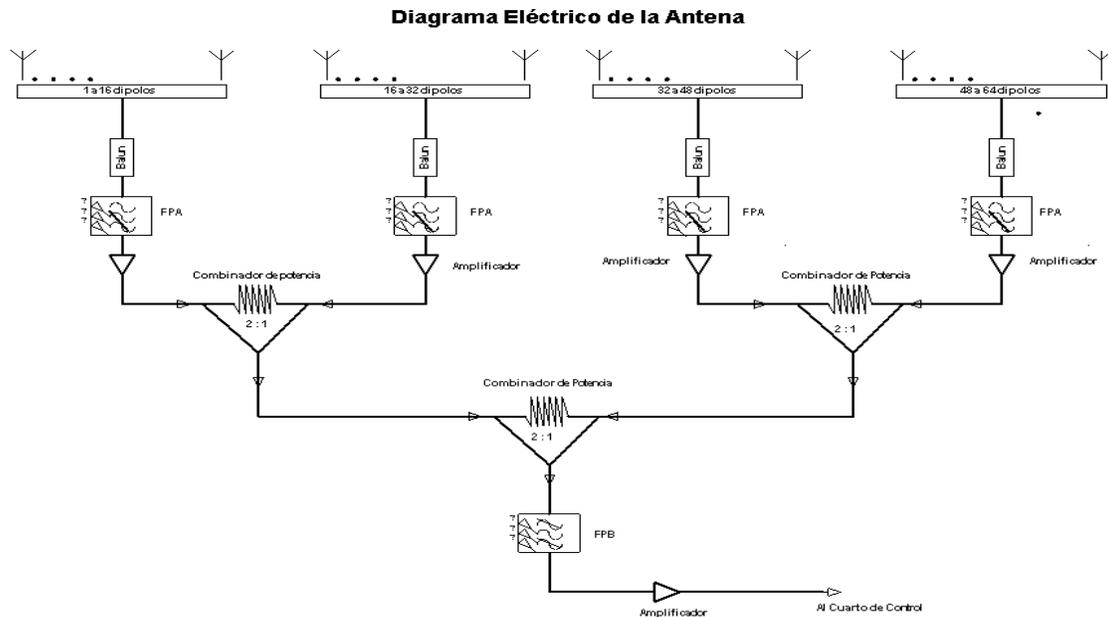


Figura 3. Configuración de una *Línea* del arreglo planar rectangular del MEXART.

El arreglo planar dipolar se conforma por 64 *Líneas*. Un esquema del arreglo planar dipolar se presenta en la figura 4. Cada *Línea* aportará una señal al subsistema generador de lóbulos o matriz de Butler.

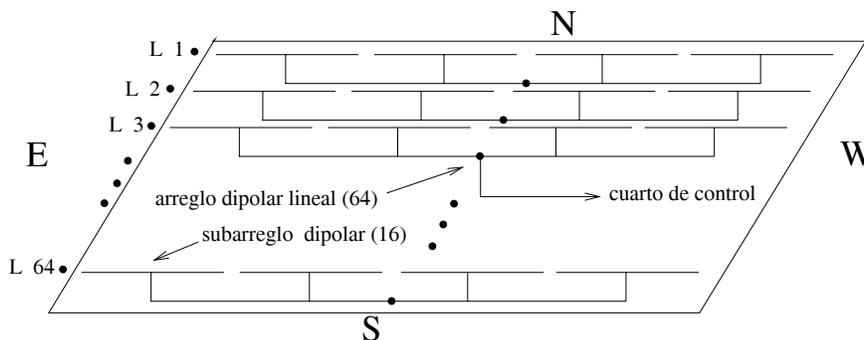


Figura 4. Esquema de la configuración del arreglo planar rectangular formado con 64 *Líneas* Este-Oeste. La señal aportada por cada *Línea* alimenta la matriz de Butler.

El objetivo de detectar y rastrear estructuras de gran escala en el medio interplanetario requiere un instrumento que pueda observar una cobertura amplia del cielo. La configuración del arreglo planar integrado a la matriz de Butler permite que el instrumento pueda desplegar el conjunto de lóbulos a declinaciones diferentes en el plano Norte-Sur, ver la figura 5. Al moverse el radiotelescopio con la Tierra el patrón de radiación asociado a la matriz hace un escaneo continuo del cielo, recorriendo las 24 horas de ascensión recta y 120° desplegados sobre el meridiano central local.

La matriz de Butler que actualmente se emplea para las pruebas de calibración, es una matriz de 16x16 puertos. La matriz está construida totalmente con componentes pasivos, el elemento



principal que integran la matriz son circuitos híbridos de cuadratura y permutadores de fase fija. Los lóbulos más cercanos al cenit presenta un ancho a potencia media de 11° , y los lóbulos más declinados presentan un ancho a potencia media de 19° . Información más amplia del diseño se puede consultar en [8] y [9]. El patrón de radiación en coordenadas polares asociado a la matriz de 16×16 puertos se muestra en la figura 5. Actualmente se encuentra en fase inicial el diseño y desarrollo en las instalaciones del MEXART un par de matrices de 32×32 puertos para las aplicaciones finales del proyecto.

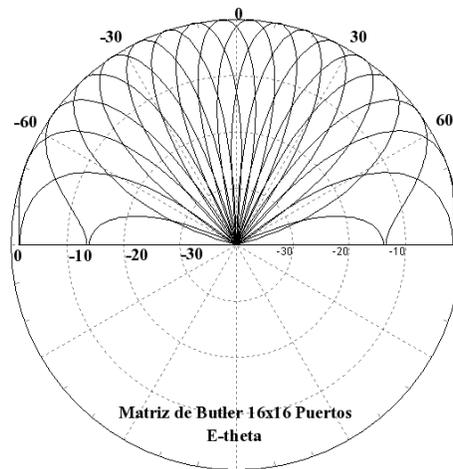


Figura 5. Patrón de radiación, en coordenadas polares, de la matriz de Butler empleada para la calibración del MEXART. El sistema de lóbulos tiene una cobertura de 120° centrados en el cenit local y desplegado en declinación sobre el meridiano central local (Norte-Sur). Los lóbulos tienen un ancho a potencia media de 1° en la dirección Este-Oeste.

El receptor que se emplean para las observaciones es del tipo superheterodino a potencia total, algunas de sus característica básicas son: frecuencia central de operación: 139.65 MHz, un filtro pasa-banda de 15 MHz, un oscilador a 128.95 MHz (CO2S4C36SW de Vectron), un mezclador doblemente balanceado ZFM-1W con $f_L = 10$ MHz, $f_U = 750$ MHz y FI de DC a 750 MHz [7], un filtro de frecuencia intermedia de 10.7 MHz con un ancho de banda 2 MHz, sistema de amplificación de frecuencia intermedia de 40 dB, un sistema de atenuación de 32 dB en pasos de: 16, 8, 4, 2, 1. El tiempo integración de posdetección para nuestra aplicación es de 50 milisegundos, aunque se tiene opción de variar. La adquisición y el procesamiento de los datos se realizan a través de una tarjeta interfase PCI-6036E de 16 bits, de National Instruments. El software para la adquisición de datos corre bajo plataforma Linux Fedora.

Para la calibración del radiotelescopio se han seleccionado las fuentes de radio estelares siguientes: La nebulosa del Cangrejo, Cygnus A y Casiopea. Estas fuentes han sido estudiadas desde hace varias décadas [10] y se tienen bien caracterizados sus principales parámetros: posición, densidad de flujo, etc. La densidad de flujo de Casiopea (3C461) es de 11000 Jy, Cygnus A (3CR405), la segunda fuente de radio más intensa después del Sol, tiene 8100 Jy, y la nebulosa del Cangrejo (3CR144) emite 1420 Jy, ($1 \text{ Jy} = 1 \times 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). La posición de la nebulosa del Cangrejo es ideal para calibrar nuestras observaciones a broadside debido a que se ubica a tan sólo 2° del cenit, se considera una fuente puntual y su densidad de flujo es más que suficiente para la calibración. Usando de referencia las densidades de flujo catalogadas se realizó una comparación directa con nuestras observaciones, derivando que la temperatura mínima detectable con una Línea es de 0.0608 K/Jy, y una densidad de flujo mínima detectable de 25 Jy (ancho de

banda de 2 MHz, realizando observaciones a potencia total y en configuración broadside). Y se estima que empleando el arreglo total se obtendrá una sensibilidad de 2.38 K/Jy, y la densidad de flujo mínima detectable será de 0.6 Jy (ancho de banda de 2 MHz), [11]. Un ejemplo de la detección de la nebulosa del Cangrejo y el radiocielo se presentan en las figuras 6 y 7. La señal en tiempo real del MEXART se puede consultar en línea en <http://www.mexart.unam.mx>.

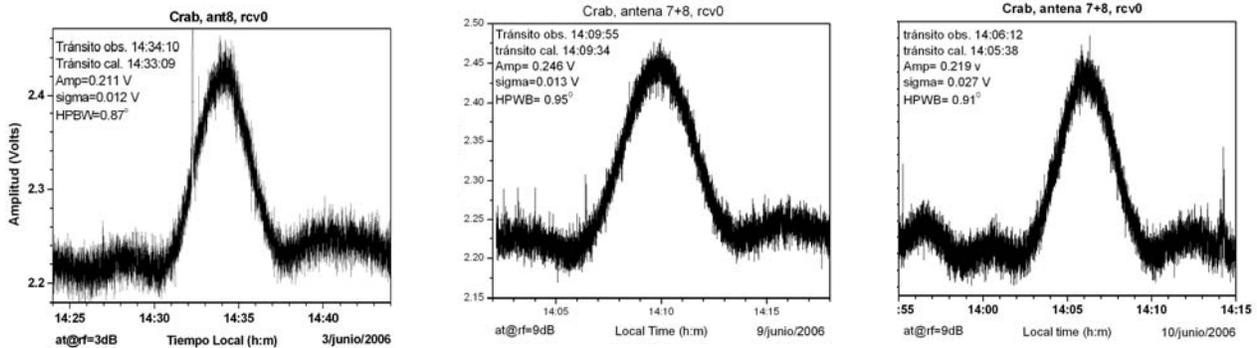


Figura 6. Se presentan 3 registros típicos generados por la nebulosa del Cangrejo al cruzar por el lóbulo principal de una *Línea* del arreglo planar del MEXART, en días diferentes. Las gráficas muestran los parámetros principales derivados de la observación: tiempo de tránsito observado y estimado, la amplitud promedio detectada, el ancho del lóbulo a potencia media y el Vrms asociado a cielo frío (sigma).

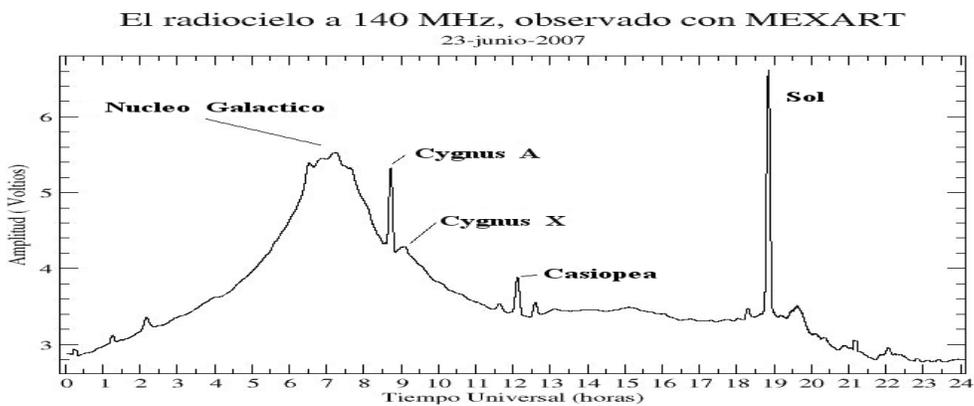


Figura 7. Un registro del radiocielo observado a 140 MHz usando una *Línea* del MEXART. La traza presenta claramente la posición y el flujo del núcleo galáctico, Cygnus A, Cygnus X, Casiopea A, y el Sol.

Conclusiones

El impacto de la actividad solar en la Tierra genera severos daños a varios sistemas tecnológicos (telecomunicaciones, prospección, transporte, etc.) que soportan la actividad humana. Este



impacto es real y se ha cuantificado durante las dos últimas décadas. La construcción de nuevos observatorios de centelleo interplanetario apoyarán los estudios de la actividad solar con el objetivo de disminuir o alertar sobre los efectos de ésta. En este marco, se tiene contemplado que el MEXART sea el primer radiotelescopio en América dedicado tiempo completo a detectar, rastrear y dar una alerta de actividad de gran escala en el medio interplanetario. Las calibraciones realizadas muestran que el radiotelescopio opera dentro de los rangos estimados, lo cual derivará en un desempeño óptimo para estudiar la actividad solar.

Referencias

- [1]. Carrillo A., *Detección de Perturbaciones del Viento Solar por Medio del Centelleo Interplanetario de Fuentes de radio Estelares*, Tesis licenciatura, Facultad de Ciencias, **1993**.
- [2]. Hewish A., Scout P. F., and Willis D., *Interplanetary Scintillation of Small Diameter Radio Sources*, *Nature*, **203**, 1214-1217, **1964**.
- [3]. Carrillo A., *Infraestructura Para el Observatorio de Centelleo Interplanetario*, Reportes Internos, **5**, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Octubre, **2005**.
- [4]. Butler J., and R. Lowe, *Beam-Forming Matrix Simplifies Design of Electrically Scanned Antennas*, *Electron. Design*, 9, April, **1961**.
- [5]. Shelton J. P., and Hasiao J. K., *Reflective Butler Matrices*, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **AP27**, No. 5, **1979**.
- [6]. Shelton J. P., and S. S. Kelleher, *Multiple Beams From Linear Arrays*, *IRE Trans., Antenna Propagat.*, **AP-9**, No. 1, 154-161, Mar., **1961**.
- [7]. *RF/IF Designer's Handbook Mini-Circuits*, Brooklyn NY, **1992**.
- [8]. Carrillo A., *Matriz de Butler de 16 Puertos*, Reportes Internos, **6**, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, Noviembre, **2004**.
- [9]. Carrillo A., *Construcción y Calibración del Radiotelescopio de Centelleo Interplanetario, MEXART*, Tesis Doctorado, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, **2007**.
- [10]. Bennett A. S., *The Revised 3C Catalog of Radio Sources*, *Mem. Roy. Astron. Soc.*, **68**, 163-172, **1962**.
- [11]. Jeyakumar S. y A. Carrillo, *MEXART: Sensitivity Revised and Current Performance*, Comunicaciones Internas, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, julio, **2007**.