

Construcción de radiotelescopio amateur para pruebas de diseño de receptor

O.V. Lopez Cabrera¹, L.A. Jalil¹, J.A. Areta^{1,2}, M. Orellana^{1,2} & N.P. Maffione^{1,2}

¹ *Universidad Nacional de Río Negro. Río Negro, Argentina*

² *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina*

Contacto / ovmlcabrera@gmail.com

Resumen / En el país existen dos antenas de espacio profundo, una perteneciente a la Agencia Espacial Europea y otra a la Administración Espacial Nacional China. Introducimos nuestro proyecto para aportar a la iniciativa de la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (interlocutora con ambas agencias), que consiste en la adecuación de las antenas para permitir su uso como radiotelescopios. Buscamos aprovechar el estado del arte en ingeniería que presentan ambos instrumentos mediante el diseño de un receptor digital que, permiso mediante, se integraría en la cadena de adquisición. No obstante, para avanzar en el diseño final, primero haremos la validación del prototipo a partir de mediciones propias. Por ello, nos encontramos construyendo un pequeño radiotelescopio capaz de detectar la emisión en banda L (1.42 GHz), cuya selección de la frecuencia se basó en la abundancia y nitidez que presentan las líneas de hidrógeno de nuestra galaxia. Finalmente, realizaremos la caracterización instrumental del sistema a partir de la medición de la temperatura de ruido, sensibilidad y resolución espacial, lo que nos permitirá comprobar el funcionamiento correcto del equipo.

Abstract / There are two deep-space antennas in Argentina, one belonging to the European Space Agency and another to the Chinese National Space Administration. We introduce our project to contribute to the initiative of the Comisión Nacional de Actividades Espaciales (the interlocutor with both agencies), which is the adequacy of these antennas to allow their usage as radio telescopes. We seek to take advantage of the state of the art in engineering presented by both instruments through the design of a back-end that, after getting the appropriate permissions, would be integrated into the acquisition chain. However, in order to move towards the final design, we first need to validate the prototype using our own measurements. Therefore, we are building a small radio telescope capable of detecting the emission in the L band (1.42 GHz), this frequency was selected because of the abundance and sharpness of the hydrogen lines in our galaxy. In the future, an instrumental characterization of the system is going to be obtained by measuring the noise temperature, sensitivity and spatial resolution, which will allow us to check for the correct functioning of the equipment.

Keywords / instrumentation: detectors — telescopes — methods: observational

1. Introducción

La República Argentina, con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE) como principal interlocutora, ha firmado acuerdos de colaboración tanto con la República Popular China como con la Agencia Espacial Europea (ESA) que abrieron las puertas a la comunidad científica nacional a facilidades con equipos de tecnología de punta, como son las estaciones CLTC-CONAE-NEUQUEN en la provincia de Neuquén (Colazo, 2018), y la ESA DSA 3 en el departamento de Malargüe, provincia de Mendoza. La antena de espacio profundo (DSA) de origen chino se utiliza para dar soporte al programa de exploración lunar de la república oriental, mientras que la DSA de la ESA es parte de una red de tres antenas, todas de características comparables, equipadas para brindar apoyo a las misiones interplanetarias de los países miembros de la agencia. En ambas estaciones, la Argentina dispone del 10% del tiempo para proyectos científicos de índole nacional, por lo que se presentan como una oportunidad única para el desarrollo de la ciencia y la tecnología argentina (circunstancia ya contemplada a partir del Primer Anuncio de Opor-

tunidad para presentar propuestas científicas por parte de la CONAE para el uso de las facilidades de ambas estaciones*) y, en particular, para el crecimiento de la radioastronomía nacional (Cancio et al., 2017). Es en este sentido que buscamos aportar al aprovechamiento de las estaciones por parte de la comunidad radioastronómica nacional a partir del desarrollo de un prototipo de receptor que permita ser incorporado como equipo permanente en las DSA. A partir de la integración del receptor, algunos de los estudios a los cuales sería posible aportar en este campo disciplinar, incluyen: variabilidad de núcleos de galaxias activas, remanentes de supernovas, medio interestelar y análisis físico-químico de nubes protoplanetarias, como también para la identificación de fuentes de rayos gamma, entre otras fuentes de interés (Benaglia et al., 2011), repercutiendo en un retorno científico-tecnológico de alto impacto con, relativamente hablando, poca inversión.

*<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/conae/noticias>

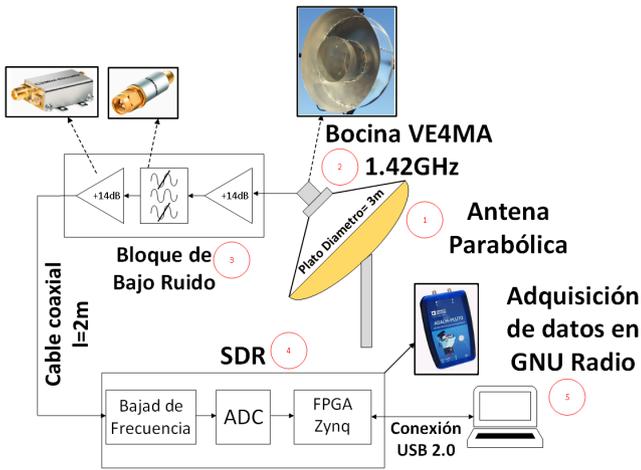


Figura 1: Esquema de la cadena de adquisición del radiotelescopio amateur con componentes COTS señalados.

1.1. Características generales de las antenas

La estación ESA DSA3 es la tercera de las estaciones de DSA, tiene capacidad de recepción de señales de banda X (8.4 – 8.5 GHz) y Ka (31.8 – 32.3 GHz) con amplificadores de bajo ruido (LNA, refrigerados a $-258\text{ }^{\circ}\text{C}$) integrados a la cadena de radiofrecuencias. Todas las DSA están equipadas con discos reflectores parabólicos de 35 m de diámetro y un servomecanismo de precisión: apuntamiento de $0.18'$ en banda X y $0.12'$ en banda Ka. La temperatura de ruido del sistema en banda X: $18\text{ }^{\circ}\text{K}$, y en banda Ka: $30\text{ }^{\circ}\text{K}$, cuenta con diodo de ruido (radiómetro de calibración). En cuanto a los receptores, tiene 8 canales (4 para cada polarización), con un ancho de banda para cada canal de 1 a 8 MHz (depende de la cuantización); cuantización de los datos: 2 a 16 bits y el formato de datos: CCSDS Delta-DOR RDEF.

Por su parte, la estación CLTC-CONAE-NEUQUEN tiene capacidad de recepción de señales de banda S (2.2-2.3 GHz) y X (8.4-8.5 GHz). Está equipada con un disco reflector parabólico de 35 m de diámetro y un servomecanismo de apuntamiento de $6.4'$ en banda S y $0.6'$ en banda X. La temperatura de ruido del sistema en bandas S y X: $46\text{ }^{\circ}\text{K}$, sin diodo de ruido. En cuanto a los receptores, el número de canales, ancho de banda de cada canal, cuantización de datos y su formato, es equivalente al de la ESA DSA3.

2. Radiotelescopio amateur

Para realizar las pruebas sobre el prototipo de receptor digital, se está procediendo con la construcción de un radiotelescopio amateur donde integrarlo para la recepción de señales de interés astronómico que a su vez nos permitan realizar las primeras pruebas de caracterización del sistema. En la integración electrónica del prototipo se utilizaron exclusivamente componentes COTS (*Commercial Off-The-Shelf*). A continuación describiremos cada una de las partes del sistema (Fig. 1).

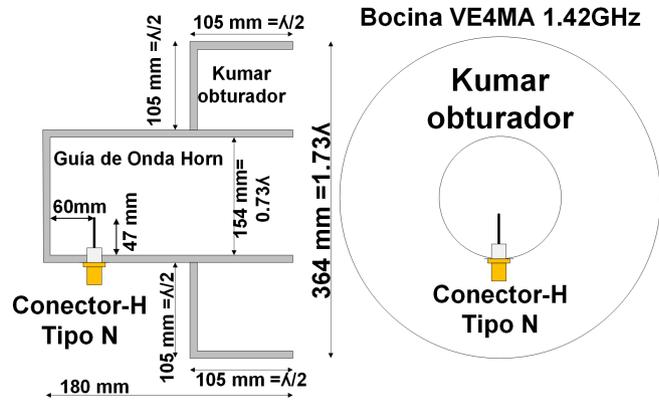


Figura 2: Esquema de la bocina de alimentación VE4MA para 1.42 GHz.

2.1. Antena

La primera de las componentes en la cadena de adquisición consiste en la antena del radiotelescopio, un plato parabólico de 3 m de diámetro ubicado en las instalaciones del Instituto Balseiro (parte del Telescopio Victor Hugo Ponce). La función de la antena es captar las ondas de radio emitidas por fuentes externas, concentrándolas en el foco. Asumiendo una iluminación uniforme en la superficie reflectora, el valor para la resolución espacial de la antena de plato simple que estamos integrando lo podemos estimar en: $\theta = 4.58^{\circ}$. La ganancia está dada por $G = 10 \log_{10} k \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$, donde k es el factor de la antena, 0.5, D es el diámetro de la antena, 3 m, y λ la longitud de onda, 0.214 m, luego $G=29.866\text{ dB}$.

2.2. Bocina de alimentación

La bocina de alimentación siempre es colocada en el punto focal de las antenas parabólicas. Su función es transformar las ondas de radio recolectadas por la antena en señales eléctricas. En nuestro caso, utilizamos una bocina VE4MA como la mostrada en el esquema de la Fig. 2 (Saje & Vidmar, 2017). Estas bocinas funcionan muy bien para platos convencionales en un amplio rango de relación focal (F/D , con F la distancia del foco a la antena y D el diámetro). Además, el anillo que envuelve a la bocina, referido en el esquema como obturador Kumar, reduce los lóbulos laterales y traseros, incrementando la eficiencia en comparación con aquellas bocinas que trabajan sin obturador, por eso su selección.

2.3. Bloque de bajo ruido

El bloque de bajo ruido (LNB, *Low Noise Block*) está compuesto por dos amplificadores de bajo ruido (LNA, *Low Noise Amplifier*) y un filtro pasa banda. Los LNA tienen una ganancia de 14 dB y una figura de ruido de 0.45 dB en su frecuencia de operación a 1.42 GHz. Mientras que el filtro pasa banda tiene una frecuencia de paso de 1420-1470 MHz (banda inferior de supresión = 1140 MHz; banda superior de supresión = 2600 MHz) y una pérdida de 2 dB.

2.4. Radio definida por *software*

La radio definida por *software* (SDR, *software-defined radio*), cumple las siguientes tareas: (a) bajar a banda base la señal recibida, (b) acondicionamiento de la señal, (c) conversión de la señal del dominio analógico al digital (ADC, *Analog-to-Digital conversion*) para luego ser transferida a la terminal (la componente final de la cadena). La SDR utilizada es la adalm-pluto de Analog Devices, la cual tiene un ancho de banda de 25 MHz y su FPGA (*field-programmable gate array*) integrada es una Zynq-7000, la que trabaja con un procesador ARM-A9. Este procesador utiliza Linux embebido para la configuración y control de: tasa de muestreo, configuración de filtros, frecuencias de los osciladores locales e interface USB 2.0. También se dispone de una SDR NI USRP, con un ancho de banda mayor (50 MHz) y la posibilidad de utilizar un reloj externo de ser necesario.

2.5. Computadora terminal

En la terminal se recibirán los datos IQ de las señales de radio, para su posterior procesamiento y almacenamiento. Para implementar este bloque se utilizó una RASPBERRY PI 3 en la cual actúa el programa GNU RADIO como interfase y un disco duro de 1 TB como medio físico de almacenamiento.

3. Validación inicial de componentes

Como primera validación se realizó una prueba de funcionamiento de los componentes adquiridos para el desarrollo del prototipo. La Fig. 3 muestra el esquema empleado, y algunas imágenes del experimento. Mediante la utilización de la SDR adalm-pluto se realizó la transmisión de diferentes tipos de señales, las que se observaron en el analizador de espectro al final de la cadena de recepción. Se verificó, entonces, (a) una correcta recepción de la bocina en la frecuencia de 1.42 GHz, (b) una ganancia del amplificador de 14 dB a la frecuencia de 1.42 GHz y (c) el correcto funcionamiento del filtro en la frecuencia de 1.42 GHz y en sus bandas de supresión.

4. Caracterización y trabajo a futuro

Finalizada la construcción del radiotelescopio, se procederá con la caracterización del sistema obteniendo parámetros tales como temperatura de ruido, sensibilidad y resolución espacial, lo que nos permitirá comprobar el funcionamiento correcto del prototipo integrado. Una vez caracterizado el sistema se realizará la calibración para comenzar con las mediciones en la línea de hidrógeno, obteniendo los datos crudos (muestras IQ). Con estas muestras podremos realizar diferentes tipos de procesamientos, como transformadas de Fourier para la obtención del espectro. Por último, teniendo validado el instrumento podremos avanzar en la colaboración con CONAE y otras instituciones (ITeDA e IAR) para escalar hacia el diseño final de los receptores de las antenas de espacio profundo mencionadas. Se aspira, como valor agregado de este proyecto, a seguir generando espacios de inserción en la temática de grandes antenas para los

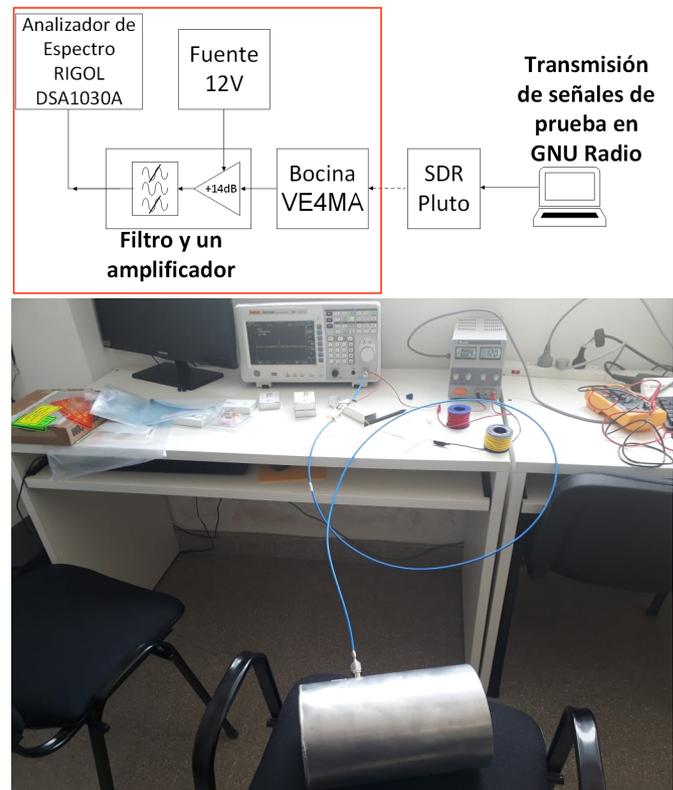


Figura 3: Esquema empleado para la validación de los componentes (panel superior). Analizador de espectro, fuente de 12 volt, filtro amplificador y bocina, en el armado de la cadena de recepción (sección recuadrada, panel superior) para las pruebas de validación (panel inferior).

estudiantes de ingeniería de la Universidad Nacional de Río Negro. De esta manera, se espera que las instancias pedagógicas generadas repercutan en una formación que les permita acoplarse a proyectos de similar envergadura, los que están teniendo un avance importante en territorio nacional: por ejemplo, además de las mencionadas estaciones de espacio profundo, CART (China-Argentina Radio Telescope), el radiotelescopio de 40 m de diámetro construido en China ya estará operativo hacia fines del 2020 presentando una nueva oportunidad.

Agradecimientos: Agradecemos al Dr. Mariano Gómez Berisso y al doctorando Ing. Horacio Arnaldi del CAB (CNEA) por la asesoría en cuanto al uso de la antena y los permisos que tuvieron que tramitar para que podamos acceder a ella. Investigación financiada por el PI DTT 2017 40B662 de la UNRN.

Referencias

- Benaglia P., et al., 2011, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 54, 447
- Cancio A., Colazo M., García B., 2017, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 59, 61
- Colazo M., 2018, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 60, 65
- Saje T., Vidmar M., 2017, Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials, 47, 113