

# Procesamiento de señales radioastronómicas, implementación para la antena de espacio profundo DSA 3 de la Agencia Espacial Europea.

A. Cancio<sup>1</sup>, M. Colazo<sup>2</sup> & B. García<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto en Tecnologías de Detección y Astropartículas, CNEA-CONICET-UNSAM, Argentina

<sup>2</sup> Comisión Nacional de Actividades Espaciales, CONAE, Argentina

Contacto / angel.cancio@iteda.cnea.gov.ar

**Resumen** / En diciembre de 2012, la Agencia Espacial Europea inauguró su tercera estación de Espacio Profundo en el departamento de Malargüe, provincia de Mendoza, Argentina. Debido a la naturaleza de sus operaciones, la antena cuenta con características de exigencia en la estabilidad de las señales de referencia y equipos de bajo ruido de fase que la convierten en candidata para su uso en aplicaciones de radioastronomía. En el presente trabajo se evalúa una primera experiencia de observación de fuentes astronómicas.

**Abstract** / In December 2012, the European Space Agency opened its third Deep Space Station in Malargüe, province of Mendoza, Argentina. Due to the nature of its operations, the antenna has requirements for the stability of reference signals and low phase noise equipment that makes it a candidate for use in radio astronomy applications. The present work evaluates the first experience of observation of astronomical sources.

**Keywords** / telescopes – instrumentation: detectors

## 1. Introducción

En 1998, la Agencia Espacial Europea (ESA por sus siglas en inglés) decidió establecer su propia red para el seguimiento de las naves en el espacio profundo, con el objetivo de hacer frente al rápido aumento esperado en el número de misiones interplanetarias. En diciembre de 2012, la Agencia Espacial Europea inauguró su tercera estación de Espacio Profundo, conocida como DSA 3, la cual se encuentra instalada a 30 km de la ciudad de Malargüe, provincia de Mendoza, Argentina.

La antena posee un reflector principal de 35 metros equipado con un sistema de alimentación de guía de ondas de haz tipo Cassegrain con un sistema de radio frecuencia (RF), con espejos dieléctricos y amplificadores de bajo nivel de ruido (LNA). Esta antena cuenta con la capacidad de recepción en banda X (8400 MHz - 8500 MHz) y recepción banda Ka (31800 MHz - 32300 MHz), también tiene la capacidad de transmitir en ambas bandas.

La estación está diseñada para proporcionar servicios de telemetría y telecomando, así como servir para otros propósitos tales como la investigación en radio ciencia (ESA, 2016a).

Las estaciones de espacio profundo de la ESA brindan apoyo a las misiones de Venus Express, Mars Express, Herschel y Planck entre otras (ESA, 2016b).

El seguimiento de una nave espacial para la determinación de la órbita requiere de referencia de frecuencias estables a mediano plazo y tiempo exactos para obtener posiciones de las sondas con suficiente precisión. Algunas misiones de radio ciencia requieren una alta estabilidad a corto plazo para que los eventos puedan ser

medidos correctamente a una tasa de un evento por segundo. Para cumplir con estas exigencias la antena se encuentra equipada con un sistema de tiempo y frecuencia que consta de un Maser Activo de Hidrógeno (Solana et al., 2013).

El crecimiento en la cantidad de este tipo de antenas por parte de las distintas agencias espaciales, y el potencial de nuevas tecnologías de telescopios para reducir los costos de construcción y operación, sugieren una unión natural entre la radioastronomía y las telecomunicaciones de espacio profundo en el desarrollo de conceptos avanzados de radiotelescopios. Las limitaciones impuestas en el diseño de los enlaces de telecomunicaciones de espacio profundo conduce a requisitos técnicos que son muy similares a los requisitos de los equipos de radioastronomía (grandes áreas de recolección, receptores de bajo ruido, flexibilidad operativa, entre otros).

La Argentina tiene acceso al 10 % del tiempo operativo de la antena DSA 3 para proyectos nacionales (Benaglia et al., 2011). En ese marco se presenta este trabajo.

## 2. Objetivos

Los objetivos planteados en este trabajo son los siguientes:

- Planificar observaciones de fuentes astronómicas en banda X.
- Realizar una observación utilizando la DSA3.
- Describir la cascada de detección de la antena utilizando el equipo existente propio de la estación.

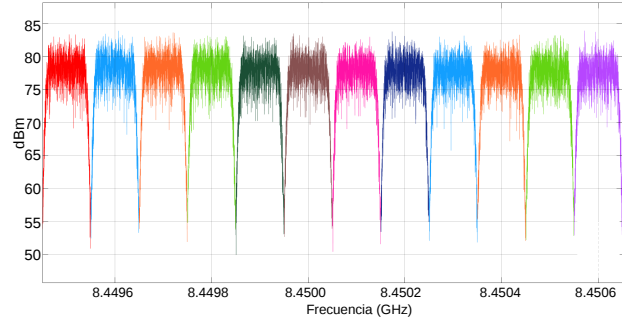
- Describir y explicar las etapas de procesamiento de los datos digitales obtenidos durante la observación.
- Identificar la señal en los datos de una observación.

### 3. Metodología

Para dar servicio a las diferentes misiones interplanetarias de la ESA, las estaciones disponen de un receptor de frecuencia intermedia (IFMS por sus siglas en inglés), que es utilizado para múltiples propósitos como ser la transmisión de telecomandos, la recepción de telemetría, la decodificación de datos y las mediciones Doppler de las señales. La estación permite la recepción de datos en un modo denominado de bucle abierto mejorado (EOLP) (James et al., 2009). En este modo, el IFMS puede procesar 2 bloques de banda ancha del espectro de frecuencia intermedia (70 MHz) (Madde et al., 2007). Estos bloques pueden corresponder a diferentes polarizaciones centradas en una misma frecuencia o la misma polarización centrados en diferentes frecuencias. Pueden capturarse hasta 8 subcanales centrados a diferentes frecuencias, dependiendo de la configuración de la estación. El ancho de banda de los canales puede configurarse en un rango de 1 kHz a 2 MHz. También puede configurarse la cantidad de bits de cada muestra (cuantización) de 1 a 16 bits. Para las observaciones astronómicas se utilizaron los tres IFMS disponibles que se utilizaron de manera tal de abarcar el mayor ancho de banda de frecuencia posible. Como la mayoría de los equipos de telecomunicaciones, la antena divide el ancho de banda espectral total en canales de frecuencias (12 subbandas en total, en este caso) y realiza una conversión de la frecuencia de banda X (8 GHz) o Ka (32 GHz) a frecuencias intermedias. La información de la señal adquirida en la observación se almacena en las unidades de almacenamiento externo (ESU) en archivos que contienen paquetes UDP/IP, cada uno con una cabecera y un bloque de datos crudos compuestos por muestras de valores complejos (*In-phase and Quadrature*, IQ). Cada bloque tiene la información de 4 subcanales de frecuencia y están sincronizados internamente. Además, se configuró la estación para obtener datos para las dos polarizaciones circulares, LHCP y RHCP, lo que lleva a un total de 24 canales. Sin embargo hay que realizar una sincronización de datos entre los tres equipos IFMS para obtener los 24 canales sincronizados y poder realizar el análisis de los datos. Este preprocesamiento o adaptación de la señal digitalizada es una etapa previa y necesaria para poder realizar el análisis espectral de la señal recibida. La configuración del receptor en EOLP tiene ciertas restricciones para diseñar el plan de observación. La frecuencia de muestreo (SR) tiene que ser mayor que el ancho de banda (BW). Para evitar colisiones el ancho de banda máximo utilizado debe ser menor a 36 Mbps. Este ancho banda máximo dependerá de la cantidad de subcanales y el grado de cuantización utilizado. De esta manera resulta que para los 4 subcanales y una resolución de la muestra de 16 bits 281 kHz es la máxima frecuencia de muestreo. El 28 de marzo de 2016 observaron las fuentes PKS 0521-36, PKS 1934-63 y B1145-676 (Tabla 1). La fuente PKS 1934-63 fue observada efectuando seis pares de observaciones ON (observación de

**Tabla 1.** Información de las fuentes observadas. Datos extraídos de (Massardi et al., 2008).

Fuente	RA	$\delta$	S8.6GHz [Jy]
PKS 0521-36	05:22:57.94	-36:27:30.4	6.57±1.04
PKS 1934-63	19:39:24.83	-63:42:45.4	2.99±0.15
PKS 1145-676	11:47:33.40	-67:53:41.5	1.49±0.07



**Figura 1.** Espectro de la fuente PKS 1934-63 en ON (LHCP).

la fuente) y OFF (campo cercano sin fuente), con un tiempo de integración de 56 segundos en cada una de las posiciones.

### 4. Resultados y Discusión

La Figura 1 muestra el espectro de potencia de la fuente PKS 1934-638, grabado por la estación durante el estudio, en los 12 canales de adquisición. El espectro muestra una salida similar en todas las canales, que seguramente es causada por el hecho que el ancho de banda observado es muy angosto respecto del ancho de banda continuo emitido por la fuente, o que podría existir otro parámetro en el modo de adquisición que afecte la observación. Al evaluar los datos adquiridos, el control automático de ganancias (*AGC* por sus siglas en inglés) estaba habilitado, y el efecto de este parámetro lleva a la modificación de parte de la información de potencia de la señal adquirida. Este parámetro debe deshabilitarse para las observaciones radioastronómicas, utilizando un nivel fijo de ganancia de la antena.

A pesar de esto se realizó un análisis temporal de la señal recibida y se intentó revertir el efecto del *AGC*, ya que se conoce el ajuste de ganancia que realiza la estación en cada momento de la observación.

#### 4.1. Análisis temporal de la señal

La primer aproximación utilizada para obtener la amplitud de la señal observada corresponde a la variación temporal de la potencia instantánea de los valores IQ que corresponde al módulo de la señal compleja, mediante la expresión:

$$P_{out} = \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (1)$$

Los valores obtenidos utilizando el modo EOLP de los IFMS son medidas relativas, por lo que para deter-

minar una magnitud absoluta es necesario realizar una calibración absoluta utilizando una fuente conocida como referencia.

La expresión (1) no involucra el efecto del ajuste de ganancia, por este motivo se calculó la potencia recibida utilizando la potencia de salida y los valores de ajuste automático la ganancia (ec. 2). Estos valores de potencia deben promediarse para todo el tiempo de integración y sumar los valores de todos los subcanales para obtener el valor de potencia para cada observación (ec. 3).

$$G = 10 \times \log \left( \frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \Rightarrow P_{in} = P_{out} \times 10^{(G/10)} \quad (2)$$

$$PA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{in_i} = \frac{1}{n} (P_{in_1} + P_{in_2} + \dots + P_{in_n}) \quad (3)$$

Una vez obtenidos los valores de potencia para las observaciones ON y OFF puede calcularse el valor de potencia neta de cada fuente. Utilizando una fuente conocida puede utilizarse este valor para calibrar absolutamente utilizando mínimos cuadrados con los valores absolutos tabulados para la fuente de referencia.

## 5. Conclusiones

La actual investigación y el presente trabajo muestran de una manera preliminar la posibilidad de utilizar la antena DSA 3 para detectar fuentes de radio astronómicas, en principio en estudios del espectro de continuo, y ha permitido entender los límites y procedimientos de funcionamiento de la antena, el proceso de solicitud de tiempo de observación y las consideraciones a tener en cuenta. Se realizó la lectura de los datos suministrados por la antena y actualmente se está trabajando en la calibración absoluta y ajuste de unidades para obtener los valores de potencia total de las señales observadas, para así intentar derivar el flujo en el continuo de radio de las radiofuentes observadas, y comparar los mismos con determinaciones derivadas de otras observaciones llevadas a cabo con otros instrumentos.

## Referencias

- Benaglia P., et al., 2011, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía, 54, 447
- ESA, 2016a, DSA3 Malargüe ground Station
- ESA, 2016b, Mission Navigator
- James N., et al., 2009, Acta Astronautica, 64, 1041
- Madde R., et al., 2007, Proceedings of the IEEE, 95, 2215
- Massardi M., et al., 2008, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 384, 775
- Solana A., et al., 2013, in Joint European Frequency and Time Forum International Frequency Control Symposium (EFTF/IFC). pp 636–640