



# Caracterización de la antena DSA 3 para uso astronómico

R. Sarmiento<sup>1</sup>, M. Colazo<sup>2</sup> & M. Fernández López<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

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

<sup>3</sup> Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET-CICPBA, Argentina

Contacto / mcolazo@gmail.com

**Resumen** / La antena *Deep Space Antenna 3* (DSA 3) instalada en Mendoza es parte de la red de la Agencia Espacial Europea para el seguimiento de naves interplanetarias en el espacio. La Argentina dispone del 10 % del tiempo operativo de esta antena para proyectos nacionales de investigación. A fines de 2017 se realizó en la estación una actualización tecnológica por la que se sustituyeron los equipos de back-end que demandó la necesidad de caracterizar la estación con esta nueva configuración. En este trabajo presentamos los resultados de senda caracterización. Adicionalmente, se trabajó en la generación de los datos de salida en formato astronómico. Este trabajo fue presentado como Tesis para obtener el grado académico de Licenciatura en Astronomía, en la Facultad de Ciencias Astronómicas de la Universidad Nacional de La Plata.

**Abstract** / The Deep Space Antenna 3 (DSA 3) is installed in Mendoza as part of the European Space Agency network for the monitoring of interplanetary spacecraft. Argentina possess 10 % of its operating time for national research projects. At the end of 2017, a technological update was carried out at the station, replacing the back-end equipment that demanded a new characterization of the station under this new configuration. We present the results of such characterization here. In addition, we worked on the generation of output data in astronomical format. This work was presented as a thesis to obtain the academic degree of Astronomy Degree, in the Faculty of Astronomical Sciences of the National University of La Plata.

**Keywords** / instrumentation: miscellaneous — methods: observational — techniques: miscellaneous

## 1. Introducción

La antena *Deep Space Antenna 3* (DSA 3) se ubica a 45 km de la ciudad mendocina de Malargüe a  $35^{\circ}46'33.63''S$  ( $35.776^{\circ}S$ ) de latitud,  $69^{\circ}23'53.51''W$  ( $69.398^{\circ}W$ ) de longitud y una elevación sobre el nivel del mar de 1550 m. Su construcción se inició en el año 2010 y finalizó en el 2012.

La antena tiene un reflector principal parabólico de 35 m de diámetro y un reflector secundario con forma hiperbólica, colocados sobre una montura alt-azimutal. Tiene la capacidad de recepción y transmisión en la banda X (8.4 – 8.5 GHz) y recepción en la banda Ka (31.8 – 32.3 GHz), longitudes de onda centimétricas (3.53 – 3.57 cm y 0.928 – 0.943 cm respectivamente). Actualmente utiliza el Telemetry Telecommand and Control Processor (TTCP) como instrumento de *backend*, que permite un ancho de banda de 4 MHz. Los anchos a potencia mitad del haz (HPBW: *Half Power Beam Width*) son  $HPBW_X = 3.85'$  y  $HPBW_{Ka} = 1.02'$  para sus bandas de trabajo.

En la sección dos de este trabajo se presenta en primer lugar el formato de salida de los datos de la DSA 3 y luego, el formato astronómico al que se convierten. En la sección 3, se exponen los experimentos de calibración llevados a cabo: apuntado y análisis de ganancia de la antena. Finalmente, en la sección cuatro se desarrollan las conclusiones del trabajo.

## 2. Formato de los datos

### 2.1. Formato de salida de la DSA 3

Para la observaciones astronómicas se utilizó el equipamiento de *backend* instalado en la estación: el TTCP; este equipamiento es utilizado por la ESA para sus comunicaciones con las misiones interplanetarias. El TTCP permite ser configurado en modo *Open Loop* que es apto para la radioastronomía. La configuración utilizada fue la siguiente:

- Número de canales por polarización: 4
- Polarizaciones: LHCP y RHCP
- Ancho de banda de cada canal: 1 MHz
- Muestra: pares I/Q de 16 bits cada componente

El sistema cuenta con un diodo de ruido como parte de un radiómetro que se utiliza para las tareas de calibración del apuntamiento de la antena, y puede ser utilizado inyectando la señal de ruido en una de las polarizaciones.

El formato de los datos sigue las recomendaciones estándar del formato de intercambio de datos crudos DELTA-DOR (*Delta-Differentiate One-way Ranging*, CCSS 2013). Se genera un archivo binario por minuto observado y por canal.

### 2.2. Formato radioastronómico

El formato de los datos de salida de la DSA 3 no se adapta a fines de investigación en radioastronomía. Por

este motivo se desarrolló un código en Python que realiza la conversión de este formato al *Single Dish Flexible Image Transport System* (SDFITS), una adaptación del comúnmente usado formato astronómico FITS, a datos provenientes de radioantenas (Liszt (1995) y Garwood (2000)). Previo al almacenamiento en este nuevo formato, es necesario un procesamiento de la señal para obtener espectros de densidad de potencia.

El programa de conversión de los datos desarrollado para este trabajo permite elegir entre tres resoluciones en frecuencia para los espectros de salida. Estas se definen fijando tres valores de resoluciones en velocidad típicos en radioastronomía: 1, 0.5 y 0.1 km s<sup>-1</sup>; y considerando una cantidad de canales de 2<sup>n</sup>, para optimizar el tiempo de cómputo del programa. En las tablas 1 y 2 se muestran las distintas opciones en la resolución espectral y, a modo de ejemplo, los respectivos tamaños de almacenaje de dichos archivos correspondientes a observaciones de  $\lesssim 1$  min de exposición. Una observación de este tipo en el formato Delta-DOR consiste en 8 archivos producto de  $\sim 225$  MB cada uno.

$\Delta v$ [km s <sup>-1</sup> ]	$\Delta \nu$ [Hz]	# canales	tamaño aprox.[kB]
1	28166	256	233
0.5	14083	512	455
0.1	2816	2048	1800

Tabla 1: Resolución en velocidad, ancho de banda de cada canal, cantidad de canales y tamaño de los archivos de salida en formato SD-FITS, en la bandas de trabajo X de la DSA 3. Los tamaños de los archivos de salida son aproximados y corresponden a observaciones de 1 min de integración.

$\Delta v$ [kms <sup>-1</sup> ]	$\Delta \nu$ [Hz]	# canales	tamaño aprox.[kB]
1	106503	64	69
0.5	53251	128	130
0.1	10650	512	478

Tabla 2: Idem Tabla 1, pero para las bandas de trabajo Ka de la DSA 3.

### 3. Experimentos de calibración

Para los siguientes experimentos se realizaron observaciones en banda X y banda Ka usando el equipo TTCP y el diodo de ruido. Se observó durante junio de 2018 el cuasar PKS 0521-365 de coordenadas ecuatoriales celestes  $\alpha = 05h22m57.98s$  y  $\delta = -36^\circ 27' 30.85''$ , J2000. Esta fuente se utilizó como fuente calibradora tomando como referencia las mediciones de flujo realizadas por el *Australia Telescope Compact Array* y cercanas a las fechas de observación.

El diodo de ruido se configuró con un ciclo de trabajo de 4 s. El diodo funciona generando pulsos durante 2 s y se apaga los otros 2 s (Fig. 1), al final de este ciclo el radiómetro calcula también un valor de temperatura de sistema.

Se detectó un comportamiento inesperado en el diodo de ruido que impidió diferenciar intervalos donde el diodo se encuentra apagado en los datos convertidos a SDFITS. Por esta razón se trabajó con los datos en el formato Delta-DOR en los experimentos de calibración, usando las potencias medidas (ON y OFF) durante los 2 s de cada ciclo donde el diodo funciona de forma intermitente. Se utilizaron únicamente las observaciones correspondientes a polarización derecha en la banda X, donde el comportamiento del diodo era consistente con lo esperable.

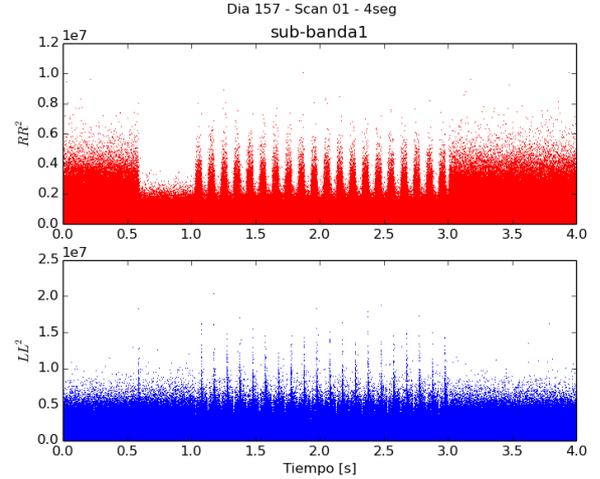


Figura 1: Cuatro segundos de integración, se grafica el módulo al cuadrado del primer canal en banda X. Panel superior: polarización derecha (RR). Panel inferior: polarización izquierda (LL).

#### 3.1. Apuntado

Se realizaron observaciones de la fuente, cuya posición es conocida con precisión, recorriendo un grillado de 5x5 puntos, midiendo durante 1 min en cada posición. Luego se realizó un ajuste gaussiano en ascensión recta y declinación a lo largo de los ejes centrales para estimar el apartamiento de la posición observada de la conocida.

A partir del ajuste se obtuvieron los valores:

$$\begin{aligned} \cos(\delta)(\alpha_o - \alpha_a) &= 0.1185' \pm 0,0006' \\ \sigma_{\alpha \cos \delta} &= 0.4160' \pm 0,0006' \\ \delta_o - \delta_a &= 0.023' \pm 0,001' \\ \sigma_{\delta} &= 0.3763' \pm 0,0009' \end{aligned}$$

Como se puede apreciar en la figura del mapeo (Fig. 2), el apuntado en declinación es muy preciso. Por otro lado, en ascensión recta se ve que hay un pequeño desplazamiento debido a que la fuente se ve un tanto extendida en esta dirección. En los dos casos los desplazamientos son pequeños respecto a HPBW<sub>X</sub>. En ningún caso el parámetro  $\sigma$  supera 0.5', si bien se esperaba que fuera del orden de medio HPBW<sub>X</sub> ( $\sim 1.7'$ ) ya que observamos una fuente puntual y debería verse la respuesta del instrumento. Cabe destacar que hacia los bordes

se ven valores de temperatura sin significado físico, por ser negativos. Adicionalmente, el grillado usado sobre-muestra la fuente, quedando ésta dentro del haz incluso en las observaciones que corresponden a las esquinas de la cuadrícula, por lo que sería esperable que las temperaturas sobre toda la grilla sean mayores que cero. Que esto no se observe puede deberse a que la temperatura de referencia (*OFF source*) fue sobreestimada. Esto también podría explicar los valores de  $\sigma$  hallados.

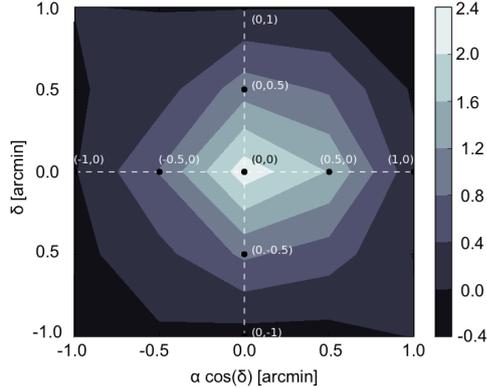


Figura 2: Mapeo de la fuente PKS-0521-365 en banda X. Las temperaturas son relativas a una observación de referencia de un punto cercano a la fuente.

### 3.2. Análisis de la curva de ganancia

Las curvas de ganancia contienen información de la respuesta del telescopio en función del ángulo de elevación. Conocer este comportamiento es fundamental para una buena caracterización del instrumento. Para este experimento se realizaron una serie de observaciones de la fuente PKS 0521-365 en banda X a diferentes elevaciones donde se observaba la fuente (ON) durante un minuto y seguidamente un punto cercano pero fuera de la fuente (OFF).

Se realizó una corrección por atenuación atmosférica con lo que se pudo ajustar una relación entre la temperatura de antena para distintas elevaciones para las observaciones *ON source* (Fig. 3). Sin embargo, no fue posible realizar el mismo ajuste para las observaciones *OFF source* debido a un comportamiento anómalo en estas observaciones. Por lo que no se pudo determinar una curva de ganancia confiable. Sería útil repetir el experimento con un número mayor de observaciones que abarquen un rango mayor de elevación.

## 4. Conclusiones

Se desarrolló un programa en lenguaje Python que permite leer y extraer los datos de los archivos de salida actuales de la DSA 3 usando la configuración TTCP, que se encuentran en el formato Delta-DOR. Además, este programa calcula la densidad espectral de potencias de la señal de forma que los datos son reducidos a un tamaño exportable y luego son almacenados al formato

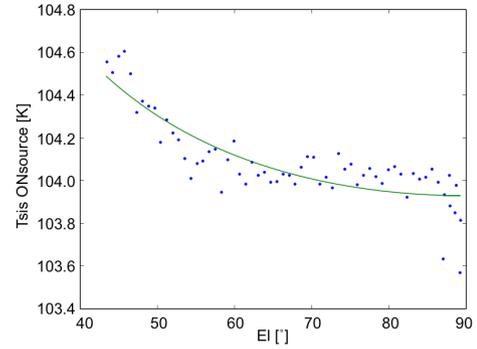


Figura 3: Temperatura de sistema en función de la elevación. Observaciones ON de la fuente y ajuste de modelo atmosférico de capas plano paralelas.

estándar astronómico FITS, siguiendo la correspondientes convenciones para radiotelescopios de disco simple.

No se logró determinar una curva de ganancia confiable para la banda X ya que las temperaturas de antena medidas dependen de observaciones *OFF*, que no tienen el comportamiento esperado. Sería útil repetir este estudio con observaciones que abarquen un rango mayor de elevaciones. Para calcular la opacidad atmosférica, podrían realizarse observaciones como las propuestas en el trabajo de Harper (2016), donde  $\tau_o$  se obtiene a partir de una aproximación lineal para la relación entre voltaje y masa de aire. Las observaciones en dicho trabajo consisten en múltiples *sky-dips* (barridos en elevación sin seguir una fuente en particular, es decir, observando el cielo), tal que con algunos pocos minutos de observación es posible extraer un  $\tau_o$ . Además de las pruebas realizadas en este trabajo sería necesario extender las curvas de ganancia a todas las elevaciones de trabajo, entre otras pruebas que permitan completar la caracterización del sistema.

Varios de los resultados no esperables se relacionan con el diodo de ruido. En primer lugar, el comportamiento observado no coincide con la documentación. Además, el diodo afecta ambas polarizaciones. Cuando el diodo no está funcionando de manera intermitente, la potencia que se observa se corresponde con la del diodo en estado encendido. Al contrastar estados encendido/apagado del diodo en distintas observaciones, la diferencia entre éstos no parece ser constante.

*Agradecimientos:* Agradecemos a la CONAE el acceso a los datos obtenidos de las observaciones astronómicas realizadas en junio de 2018 con la estación DSA 3.

## Referencias

- CCSS, 2013, *Recommended Standard for Delta-DOR Raw Data Exchange Format*
- Garwood R.W., 2000, ASP Conference Series, 216, 243
- Harper S., 2016, *Single-Dish intensity mapping with the Quijote MFI and GBT*
- Liszt H.S., 1995, A Binary Table Convention for Interchange of Single Dish Data in Radio Astronomy