

Primeras observaciones de VLBI con el radiotelescopio de 40m

Informe Técnico IT-OAN 2008-11

Índice

1. Introducción	2
2. Las observaciones	2
3. Equipos utilizados	2
4. Receptor de 22 GHz. Frecuencia del LO. Montaje y ruido de fase	3
4.1. Montaje	3
4.2. Ruido de fase	3
4.3. Ajuste de la potencia del diodo de ruido.	4
5. Puntería antes de las observaciones	4
6. Monitorización de las temperaturas del sistema	4
7. Primeros resultados de la correlación	4
8. Conclusión y futuros trabajos relacionados con la observaciones de VLBI	8

1. Introducción

En este informe se describe la primera observación de VLBI realizada en el Centro Astronómico de Yebes con el radiotelescopio de 40m. En el momento en el que se redacta este informe se puede afirmar que las observaciones analizadas hasta el momento han sido un éxito. Este éxito es resultado del trabajo de un grupo de personas del Observatorio Astronómico Nacional, del Max Planck Institut für Radioastronomie en Bonn y del JIVE (Joint Institute for Very Long Baseline Interferometry in Europe).

2. Las observaciones

El Centro Astronómico de Yebes participó en 3 observaciones a 22 GHz. El cuadro 1, tomado del programa oficial de la EVN, resume las características más importantes de las observaciones: código de la observación, telescopios participantes, correlador que recibe y analiza las observaciones, duración de cada experimento en horas, espacio ocupado por los datos y hora de comienzo y final. Las dos primeras observaciones se hicieron a 22 GHz y la última a 23 GHz. El primer experimento es un NME (Network Monitor Experiment) y precisó el envío de varios intervalos temporales reducidos de datos hasta el correlador empleando FTP.

Código	Telescopios	Corr	Duración	Tamaño (Tb)	Día	UT inicial	UT final
N08K2	CmEb Jb2 On20 Mc Nt Sh Mh Yb	EVN	3.8	0.42	151	12:00	16:00
EB037C	CmEb Jb2 On20 Mc Nt Sh Mh(Yb)	EVN	18.8	2.08	151	20:30	06:30
N08K3	CmEb Jb2 On20 Mc(Nt Sh Mh Yb)Hh	EVN	8.3	0.83	152	08:30	16:30

Cuadro 1: *Primeras observaciones de VLBI en las que tomó parte la antena de 40m*

3. Equipos utilizados

Las observaciones se llevaron a cabo empleando un terminal VLBA5 más un registrador Mark5B. El terminal de adquisición de datos VLBA5 del OAN está compuesto por dos unidades de acondicionamiento de FI, 14 BBCs y un muestreador VSI4 que genera dos flujos de datos de 32 bits en paralelo a una velocidad de 64 Mb/s. El Mark5B es un equipo de registro de datos que permite grabar secuencialmente en dos paquetes de 8 discos. Ambos equipos se montaron en el OAN a partir de tarjetas adquiridas a Conduant Corporation y al observatorio de Haystack y su montaje y las pruebas realizadas se describen en los correspondientes informes técnicos.

Antes de la observación los paquetes de discos se acondicionaron para su uso en las observaciones. Este proceso verifica el correcto funcionamiento de los discos y consiste en escribir, leer y borrar datos en todos los sectores disponibles, marcando aquellas partes que no funcionan correctamente. El proceso de acondicionamiento consume una gran cantidad de tiempo y es proporcional al espacio disponible en el paquete de discos. Mientras dura el acondicionamiento el terminal Mark5B no se puede utilizar.

4. Receptor de 22 GHz. Frecuencia del LO. Montaje y ruido de fase

El ruido de fase del receptor de 22 GHz se midió antes de las observaciones. El procedimiento y los resultados se documentan en un informe separado del OAN. Sin embargo aquí se resumen algunos de los resultados más importantes.

4.1. Montaje

La figura 1 muestra un esquema del receptor de 22 GHz utilizado durante las observaciones del VLBI. La señal de 5 MHz procedente del máser se distribuye a través del distribuidor Quartzlock que genera señales de 5, 10 y 100 MHz. Una señal de 5 MHz y una de 10 MHz se envían hasta la cabina de receptores empleando cables RG58. En la cabina de receptores la señal de 5 MHz se emplea para enganchar una sintetizador Racal Dana a una frecuencia próxima a 1250 MHz. La señal de 10 MHz se utiliza para enganchar un sintetizador Rhode que genera de nuevo una señal de 10 MHz, con un ruido de fase menor que el que contiene la señal de referencia.

El receptor de 22 GHz se puede operar en dos modos diferentes: banda superior y banda inferior. En la banda superior el oscilador local puede sintonizarse entre 22850 y 23450 MHz y en la inferior entre 21250 y 21850 MHz. En ambos casos la FI comienza en 500 MHz y acaba en 1000 MHz. La frecuencia del sintetizador Racal Dana se multiplica por 7 y se añade a una frecuencia fija de 12800 MHz para la banda inferior y 14400 MHz para la superior.

El OL escogido durante las observaciones fue 21500 MHz para las observaciones a 22 GHz y 23150 MHz para las de 23 GHz. Estos valores se obtienen seleccionando una frecuencia del Racal Dana de 1242.8571428571429 MHz y 1293.75 MHz respectivamente.

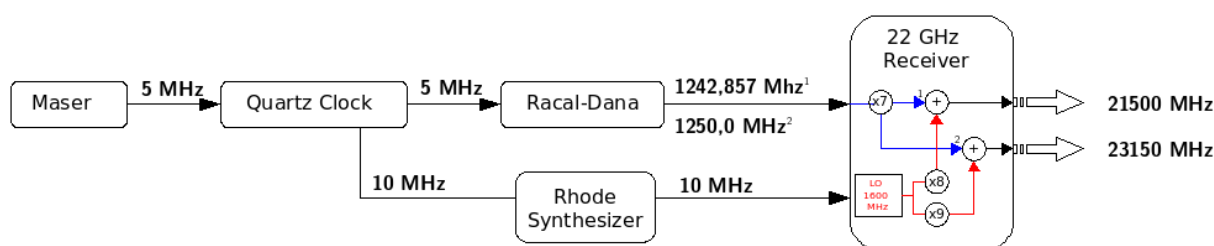


Figura 1: Configuración del receptor de 22 GHz

4.2. Ruido de fase

El ruido de fase medido pico a pico fue de ~ 50 grados que se corresponde con $\Delta\phi_{rms} \sim 15$ grados RMS. Este valor produce una pérdida de coherencia del 7% de acuerdo con Weinreb

(1983).

$$C_F = \exp[-(\overline{\Delta\phi_{rms}})^2] = 0,93$$

4.3. Ajuste de la potencia del diodo de ruido.

El receptor de 22 GHz inyecta ruido procedente de un diodo antes de los amplificadores refrigerados y a través de un acoplador direccional. La temperatura de calibración equivalente se midió para diferentes frecuencias con una resolución de 50 MHz y diferentes valores del atenuador situado tras él. Las medidas detalladas se describen en un informe separado. El atenuador del diodo de ruido se seleccionó en 6 dB para generar una señal $\sim 10\%$ del ruido típico del sistema a una elevación de 45 grados de elevación y en condiciones atmosféricas similares a las de la observación.

El atenuador a la salida de la FI se ajustó para obtener un valor de 16000 cuentas en los detectores de continuo de los BBCs y un valor cercano a 0 en el ajuste automático de la ganancia de estos.

5. Puntería antes de las observaciones

Dos horas antes del comienzo de las observaciones se realizaron varios barridos de puntería para verificar el posicionamiento de los espejos Nasmyth y el funcionamiento correcto de la antena. La figura 2 muestra un barrido de puntería en acimut sobre 3C84, la primera fuente de la observación N08K2. El error de apuntado era aparentemente 15 segundos de arco, $< 20\%$ de la anchura del haz a la frecuencia de observación.

6. Monitorización de las temperaturas del sistema

Durante la observación la temperatura del sistema se monitorizó constantemente. Este proceso es habitual en todas las observaciones de VLBI. Para ello se emplean los detectores de continuo de banda estrecha de los BBCs y los de banda ancha de las FIs del terminal VLBA5. La figura 3 muestra la temperatura del sistema para los tres experimentos. En ningún momento las observaciones fueron las óptimas y en algunas ocasiones se produjeron aguaceros que incrementaron considerablemente la temperatura del sistema. La temperatura del sistema a 22 GHz depende fuertemente de las condiciones atmosféricas y de la elevación de la fuente. En el experimento EB037 la antena comenzó a bajas elevaciones y ello es claramente visible en la gráfica de la temperatura del sistema.

7. Primeros resultados de la correlación

La correlación se hizo varias horas después de las observaciones en intervalos selectos de datos transferidos mediante FTP. Las primeras franjas se confirmaron varias horas después de las observaciones por dos correladores diferentes con tecnologías diferentes. El correlador de

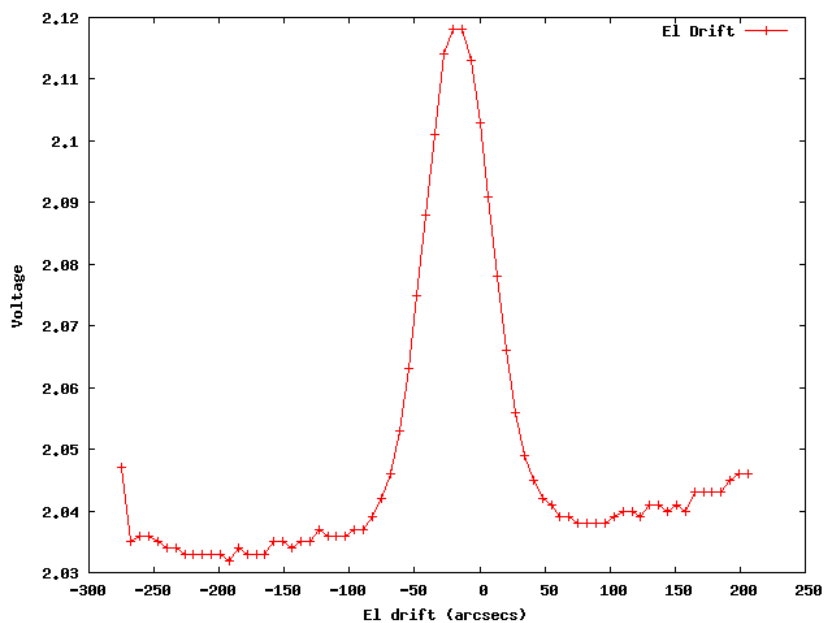


Figura 2: Barrido en acimut sobre 3C84

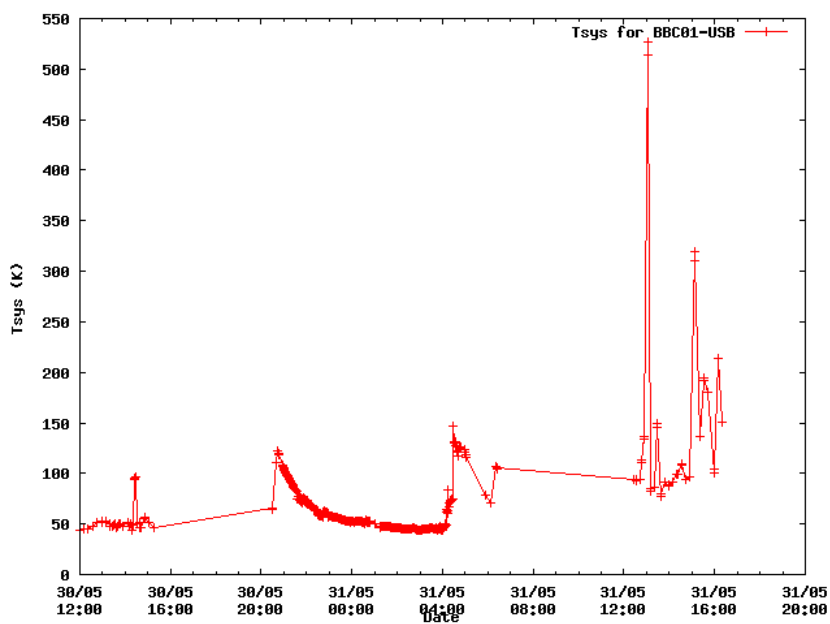


Figura 3: Temperatura de sistema obtenida con el detector del BBC01, banda superior durante las tres observaciones.

JIVE detectó las franjas en la línea de base Effelsberg - Yebes sobre 4C39.25 empleando un correlador «software» preparado especialmente para leer los datos de equipos Mark5B una semana antes de la observación. El correlador de Bonn confirmó las franjas en la misma línea de base sobre 3C84 empleando un correlador «hardware» tradicional. El tiempo de integración inicial en ambos casos fue de 0.5 segundos.

Ambas correlaciones muestran una frecuencia residual de 1 Hz procedente de una configuración poco óptima del receptor de 22 GHz en Yebes debido a un error de redondeo en el sintetizador Racal Dana. Este problema no tiene ningún impacto negativo sobre los resultados ya que se puede corregir durante el proceso de correlación pero se evitará en futuras observaciones.

Las figuras 4 y 5 de los correladores de JIVE y Bonn muestran el resultado obtenido. Ambas figuras se obtuvieron sobre 4C39.25. La correlación de 4C39.25 se hizo varios días después en el correlador de Bonn y la hemos incluido porque la relación señal a ruido es mejor que en 3C84 ya que el intervalo de datos es mayor y el error en frecuencia de 1 Hz está corregido desde el inicio.

La figura 4 muestra la señal de correlación obtenida en el correlador de JIVE entre Effelsberg y Yebes en dos polarizaciones para un ancho de banda de 8 MHz centrado en 22220 MHz. Se empleó un tiempo de integración de 2 segundos en total. La amplitud está en unidades arbitrarias. En el eje de abscisas se representa el número de retrasos (lags) entre ambas señales. Cada unidad de retraso se corresponde con el intervalo de muestreo: $1/2B$ donde B es el ancho de banda de un canal. En este caso cada retraso es 62.5 ns. El máximo de señal se produce cuando el retraso se ajusta a la diferencia esperada de recorrido de la señal entre ambas estaciones (500).

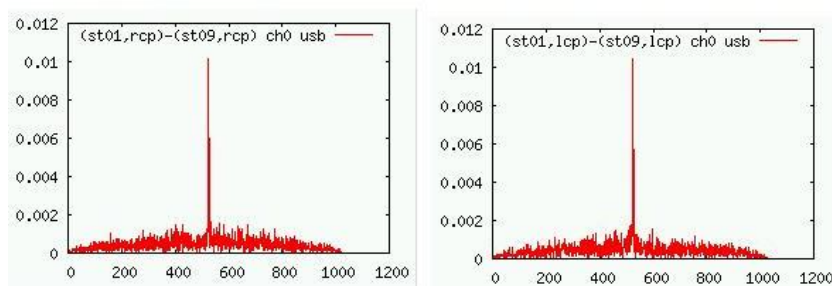


Figura 4: Amplitud de correlación (LCP-LCP y RCP-RCP) frente a intervalo de retraso a 22220 MHz. Línea de base Effelberg - Yebes. Intervalo de cada retraso: 62.5 ns. Tiempo de integración total: 2 s.

La figura 5 contiene un conjunto de gráficas y datos típicos con información detallada sobre el proceso de correlación entre dos estaciones de VLBI. En este caso la correlación se hizo con dos señales LCP procedentes de Effelsberg y Yebes. El tiempo total de integración es de 10,5 segundos. Este valor está limitado por la cantidad de datos enviados al correlador empleando FTP. La gráfica superior muestra una curva azul para el retraso de grupo (multiband delay) que resuelve la ambigüedad de 2π en la fase para cada BBC. Se obtiene a partir de una transformada de Fourier en frecuencia. En este caso la curva, centrada en 0,731 ns, es bastante ancha y la determinación pobre porque sólo se emplearon 2 BBCs por polarización. La curva roja muestra

la frecuencia residual de las franjas (28.4 mHz), una vez corregido el offset de 1 Hz. La relación señal a ruido es 376. La amplitud de la señal es ~ 187 en unidades arbitrarias y la fase ~ 93 grados con un RMS de 2.2 grados. El número de retrasos utilizados para detectar la señal en torno al retraso esperado es 32, siendo cada retraso de longitud 62.5 ns.

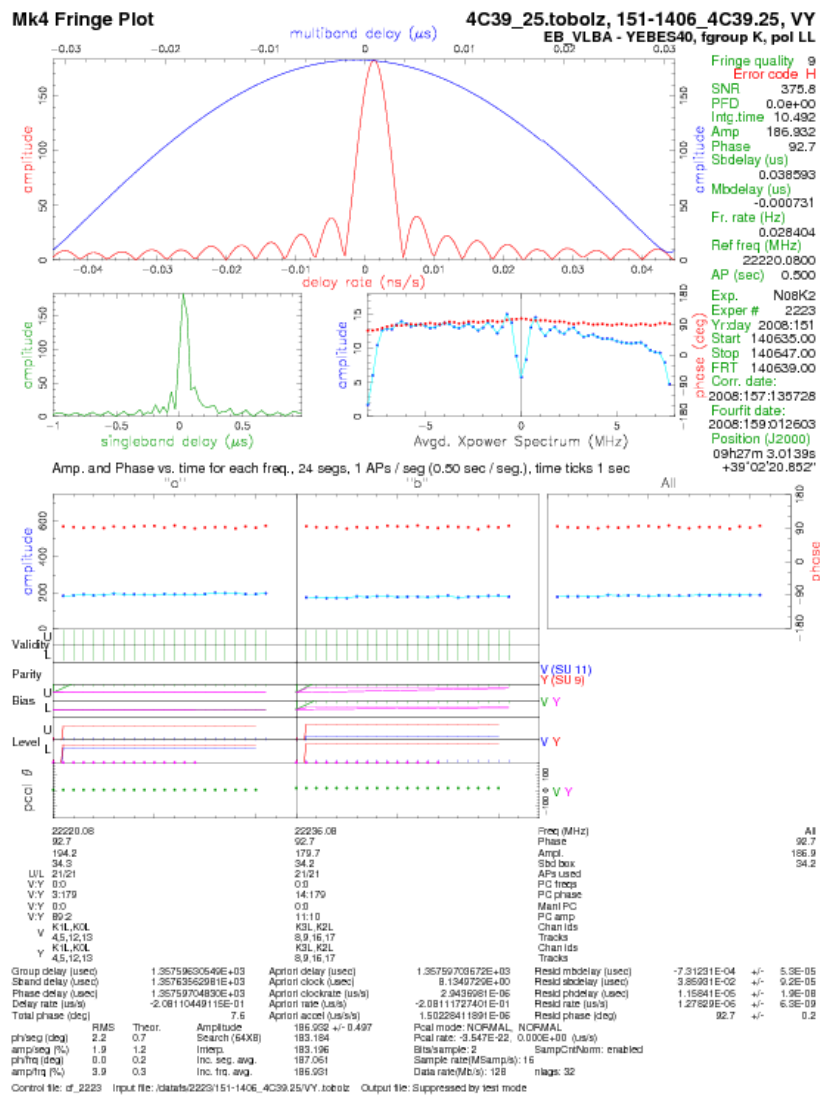


Figura 5: Resumen «Mark4 fringe plot» para 4C39.25 para la línea de base Effelsberg - Yebes.

La magnitud de la frecuencia residual es pequeña y consistente con un error en la posición de la antena de ~ 2 m. Serán necesarias observaciones de VLBI de diversas fuentes para confirmar o desmentir este origen.

En una de las gráficas se muestra el espectro promediado para los dos BBCs (banda superior más banda inferior). En el se puede apreciar la amplitud de la señal que muestra la forma de la banda de los BBCs y la fase de la señal a lo largo de dicha banda, que se mantiene aproximadamente constante. Ambos comportamientos son indicativos de un buen comportamiento de los

equipos de recepción en ambas estaciones observando una fuente de continuo.

Se puede hacer una estimación del flujo correlado (F) en Jy teniendo en cuenta la relación señal a ruido (SNR) detectada:

$$SNR = k \frac{F \sqrt{2 B T_{int}}}{SEFD_1 SEFD_2}$$

donde k recoge las pérdidas por digitalización, B es el ancho de banda en Hz de un canal, T_{int} es el tiempo de integración en segundos y $SEFD$ es el flujo equivalente de la fuente, y es una medida de la sensibilidad del sistema que combina la temperatura del sistema y la eficiencia de apertura. Por tanto:

$$F = \frac{SNR SEFD_1 SEFD_2}{k \sqrt{2 B T_{int}}}$$

reemplazando por sus valores:

$$\begin{aligned} B &= 16 \cdot 10^6 \text{ MHz} \\ T_{int} &= 10,5 \text{ s} \\ SEFD_1 (Eb) &= T_{sys} \cdot Gain = 200 \cdot 1 \text{ Jy/K} \\ SEFD_2 (Ys) &= T_{sys} \cdot Gain = 50 \cdot 3,57 \text{ Jy/K} \\ k &= 0,7 \end{aligned}$$

Se obtiene un flujo correlado de $\sim 5,5$ Jy. El flujo estimado para esta fuente es 6 Jy, que concuerda razonablemente bien con las hipótesis anteriores.

La $SEFD$ de la antena de 40 m es muy similar a la antena de 100 m, ya que, aunque la eficiencia de apertura del 100 m es mayor (1 Jy/K), frente a 3,57 Jy/K para el 40 m, la temperatura de sistema del 40 m es aproximadamente 4 veces mejor que la del 100 m. Ello indica que la sensibilidad de ambos telescopios es muy similar.

8. Conclusión y futuros trabajos relacionados con la observaciones de VLBI

- Antena. La antena de 40 m presentó algunos problemas en los servosistemas antes y durante la observación que se pudieron resolver con bastante rapidez y que apenas influyeron sobre las observaciones. Se ha enviado un informe detallado de las incidencias a la empresa instaladora para que investiguen en profundidad sus causas y adopten las soluciones pertinentes.
- Mark5B. El Mark5B perdió la sincronización en algún momento de la observación. Es necesario realizar ciertos trabajos de software para actualizar el sistema con la última versión disponible. Esta versión está todavía en pruebas por lo que será necesario realizar pruebas sobre su funcionamiento.

8 CONCLUSIÓN Y FUTUROS TRABAJOS RELACIONADOS CON LA OBSERVACIONES DE VLBI9

- **Field System.** El programa de control del sistema VLBI también debe actualizarse tan pronto como aparezca una nueva versión. Se han detectado ciertos problemas de comunicación entre el Mark5B y este sistema de control, y se ha informado de ellos al encargado de su mantenimiento en NASA (EEUU), que los investigará y corregirá.
- **Paquetes de discos.** Es conveniente aprovisionarse de varios paquetes de discos de reserva. En algunas ocasiones los paquetes que envían los correladores muestran errores y no funcionan adecuadamente. Así mismo es necesario acondicionar los discos con suficiente tiempo de antelación. Esta operación puede requerir varias horas. Tras el acondicionamiento es importante realizar pequeñas pruebas de grabación antes de la observación ya que es un buen procedimiento para detectar errores. Tras la escritura los discos se deben borrar.
- **Selección de una frecuencia de OL óptima.** El OL se elegirá de modo que la frecuencia del sintetizador sea un múltiplo exacto de la resolución espectral del sintetizador. Proponemos el uso de 21550 MHz para la banda inferior de frecuencia y de 23150 MHz para la superior. Estos valores precisan un único valor de frecuencia del Racal Dana: 1250.0 MHz.
- **Mejoras en la distribución de frecuencia.** Se debería diseñar una configuración definitiva para la distribución de frecuencia (5 y 10 MHz). El sintetizador de Rhode debería ser reemplazado por un cristal de cuarzo en la cabina de receptores que se enganche a una señal de 5 MHz (o alternativamente 10 MHz o 100 MHz) del máser de hidrógeno y que filtre los 50 Hz de la red empleando una red de enganche de fase.
- **Montaje permanente de medida de ruido de fase.** Sería conveniente instalar un sistema de inyección de fase antes de los amplificadores refrigerados. También sería útil un divisor de frecuencia que generara 400 Hz o 10 KHz a partir de una señal de 5 MHz. Este dispositivo más la inyección de tonos cada 1 MHz permitiría medir el ruido de fase en cualquier momento. Además este montaje permitiría la medida de algunas características de los BBCs como la banda de paso y el rechazo de la banda imagen utilizando procedimientos estándar del Field System.
- **Transferencia de datos.** El Centro Astronómico de Yebes está conectado con una línea de 2 Mb/s que resultó ser insuficiente para la transferencia de datos hasta el correlador. Es conveniente acelerar la instalación de una línea de alata velocidad que permita la transferencia de datos en un tiempo pequeño.