

**Monitorización del máser de hidrógeno  
antes y después del traslado al  
radiotelescopio de 40m**

P. de Vicente, J.D. Gallego,  
R. Bolaño y C. Almendros

Informe Técnico IT-OAN 2007-03

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Consideraciones previas al traslado del máser</b>	<b>2</b>
<b>3. Mantenimiento del máser por Kvarz.</b>	<b>4</b>
<b>4. Traslado del máser de hidrógeno</b>	<b>5</b>
<b>5. Error de comunicación receptor - antena GPS</b>	<b>6</b>
<b>6. Sistema de monitorización de fibra óptica</b>	<b>8</b>
<b>7. Montaje temporal para la monitorización del máser. Resultados</b>	<b>11</b>
<b>8. Actualización del PC de control del máser</b>	<b>12</b>

## 1. Introducción

Los equipos de VLBI se trasladaron el 29 de septiembre de 2006 desde el radiotelescopio de 14m al radiotelescopio de 40m. En el informe IT-OAN/CAY 2007-01 se describen los aspectos fundamentales de dicho traslado así como la ubicación definitiva de estos y su interconexión.

Este informe describe con detalle las condiciones bajo las que se trasladó el máser de hidrógeno, su estado antes y después de este, así como los trabajos que fue necesario realizar para su monitorización. El máser de hidrógeno se puede considerar el equipo más delicado de todos los que intervienen en las observaciones de VLBI al tratarse de una referencia de frecuencia para todos lo equipos del CAY.

## 2. Consideraciones previas al traslado del máser

El máser de hidrógeno se encontraba situado en una sala dedicada en el radiotelescopio de 14m. Dicha sala se forró hace años con una capa de polistireno expandido por su interior y disponía de una ventana que se tapó por el exterior con una chapa de madera. De este modo se intentó minimizar las variaciones de temperatura en su entorno. Así mismo disponía de una bomba de calor cuyo funcionamiento había que alternar de enfriamiento a calentamiento según la época del año. La inercia de la sala sin control de temperatura no era grande (hasta 5 grados en un mismo día dependiendo de la estación del año y del día en particular) y la temperatura estaba muy influenciada por la de la sala general a través de la puerta de acceso. Mientras el aparato de aire funcionaba la temperatura de la sala oscilaba 2 grados con periodos de 1 hora aproximadamente que se correspondían con los ciclos de calentamiento o enfriamiento de la bomba de calor. La figura 1 muestra dos gráficas de los cambios de temperatura con y sin bomba de calor. Antes del traslado las constantes lluvias del otoño produjeron goteras junto a la ventana, que levantaron la pintura y humedecieron la sala, empeorando las condiciones en su interior.

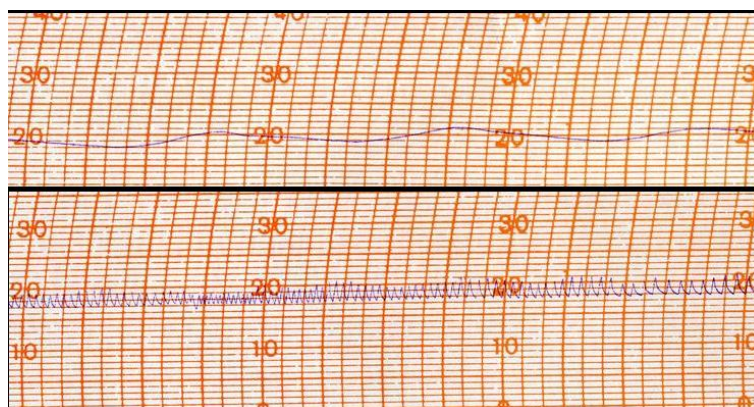


Figura 1: Inercia térmica en la sala del máser del radiotelescopio de 14 m, en dos periodos del mes de marzo de 1992. En la La gráfica superior la bomba de calor estaba apagada y en la inferior estaba encendida.

La monitorización del máser se hacía empleando un receptor GPS en la misma sala y conectado con su antena a través de un cable de 30 m y  $75 \Omega$  de bajas pérdidas. La antena estaba situada en el tejado de la sala del radiotelescopio de 14 m. En verano de 2005 se trasladó la antena GPS al mastil de la torre meteorológica, como se describe en el informe IT-CAY/OAN 2005-9, y se trasladó el cable de antena de  $75 \Omega$  hasta allí. El montaje que se describe en dicho informe sin embargo no fue definitivo porque el máser no podía trasladarse en ese momento. La señal de 5 MHz del máser se transporta hasta el receptor GPS Trimble del IGN situado en el edificio de oficinas, y en ese momento no era posible llevar esta señal desde el radiotelescopio de 40 m hasta las oficinas. Por tanto se volvió a situar la antena GPS en su antiguo emplazamiento y se fabricó un nuevo cable de antena RG58 de 50 Ohmios. Desde entonces la antena permaneció en su lugar hasta el momento del traslado definitivo durante el otoño de 2006. Durante este periodo se observó un incremento en la dispersión de las medidas que se puede apreciar en la figuras 2 y 3 que atribuimos al nuevo cable de antena. Como se puede observar la dispersión pico a pico en 2005 es de aproximadamente  $3 \cdot 10^{-8}$ , mientras que en 2006 se aprecia un efecto sistemático con una periodicidad de 24 horas que aumenta la dispersión pico a pico hasta  $1,5 \cdot 10^{-7}$ . Desconocemos la causa de esta diferencia ya que las variaciones del coeficiente dieléctrico de un cable RG58 por cambios de temperatura no explican este aumento del ruido de fase. Según el informe IT CAY/OAN 200x-y la variación de longitud de un cable RG58 enrollado es:

$$\Delta\tau = -0,7 \pm 0,01 \frac{\text{ps}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}} \quad (1)$$

El cable de la antena GPS en el RT 14 m era de 30 m y discurría por el falso suelo de la sala de control del 14 m (20 m) y por el exterior (10 m). Admitiendo una variación de temperatura diurna de  $15^{\circ}\text{C}$  se producirían variaciones de 0,3 ns en la señal, valor muy inferior a los 150 ns observados.

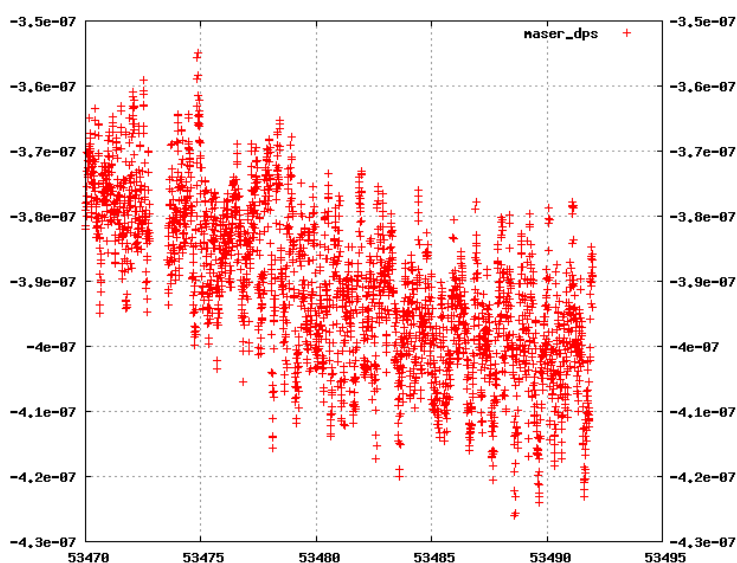


Figura 2: Deriva del máser en 20 días. Año 2005

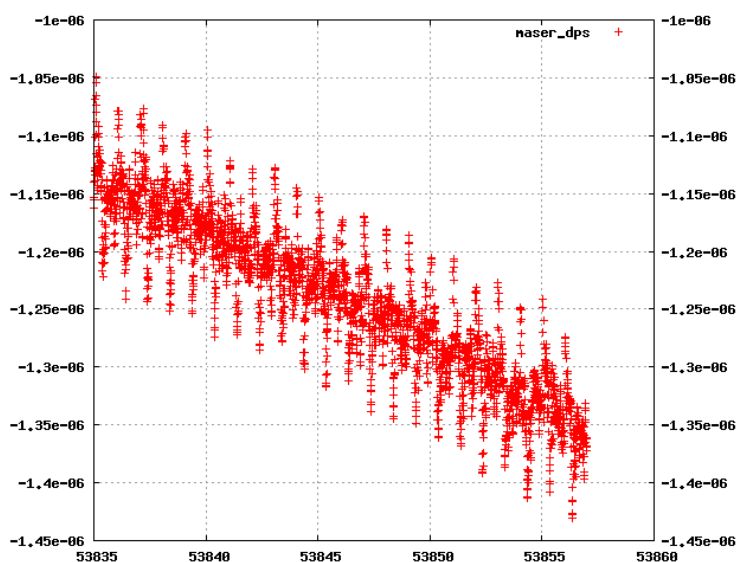


Figura 3: Deriva del máser en 20 días. Año 2006

### 3. Mantenimiento del máser por Kvarz.

En el año 2005 la fuente de hidrógeno del máser se estaba agotando y era necesaria su reposición. La gráfica 4 muestra la presión de hidrógeno molecular en MPa antes de ser disociado en función del tiempo, desde que el máser está en el CAY. La presión es un indicador de la cantidad de hidrógeno disponible.

Originalmente se contempló la posibilidad de trasladar el máser después de que el técnico de Kvarz instalase la nueva fuente de hidrógeno y revisase el equipo para detectar posibles problemas ocasionados por el movimiento. Esta operación no se pudo realizar porque los módulos de fibra óptica (FO) para transportar la señal de 10 MHz desde los distribuidores de frecuencia hasta el receptor GPS de Trimble no se entregaron en plazo. De cualquier modo se instaló una nueva fuente de hidrógeno (HFO) y se cambió el generador de alta frecuencia que disocia el hidrógeno molecular en atómico.

Los trabajos realizados por Vladimir Gavrilov de Kvarz en el máser de hidrógeno se describen a continuación:

- Cambio de condensadores electrolíticos de 85 C a 105 C en 3 tarjetas de la fuente de alimentación en uso y en la fuente de alimentación de reserva. Cada fuente precisó 8 condensadores, por lo que se cambiaron 16 condensadores en total. Uno de los condensadores cambiados estaba roto.
- Cambio del hilo y de los condensadores en el disociador y excitador de hidrógeno molecular. Estos condensadores no son electrolíticos pero son susceptibles de avería.
- Cambio de la fuente de hidrógeno.

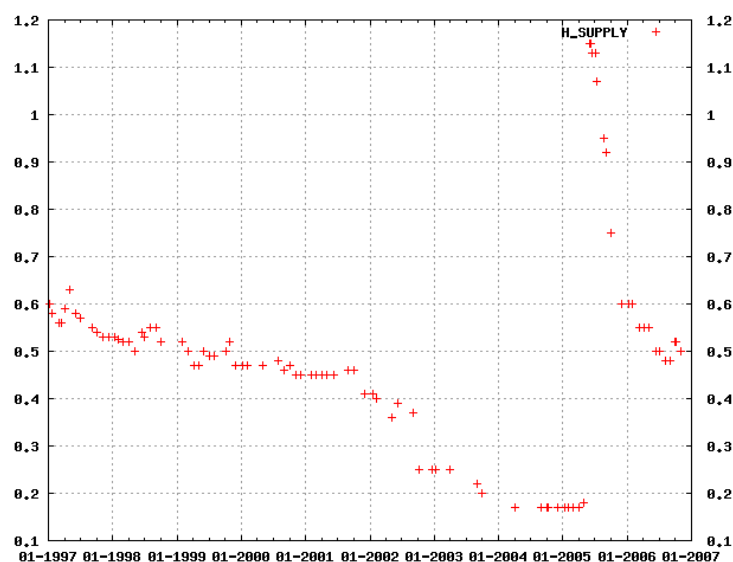


Figura 4: Variación de la presión de hidrógeno molecular en el maser CH1-75 con el tiempo. Unidades: MPa. El aumento de presión en junio de 2005 se debe a la reposición de la fuente de hidrógeno por una nueva.

- Intento de cambio del conmutador en el frontal de la puerta que presenta fallos en su funcionamiento. No se pudo realizar porque la operación requería el desmontaje completo de la puerta.
- Notas:
  - El bulbo de cristal de descarga muestra depósitos de un material marrón.
  - El maser puede necesitar un recambio en el futuro cercano de las bombas iónicas, el «getter» y el purificador de hidrógeno. Para realizar esta operación hace falta una bomba molecular y un detector de fugas.

## 4. Traslado del maser de hidrógeno

Una vez que se recibieron los módulos de fibra óptica DA-36 de la casa Pendulum se pudo trasladar el maser. Cada módulo recibe una señal de 5 o de 10 MHz y la transmite a través de fibra óptica (monomodo o multimodo) hasta otro módulo similar que regenera la señal. El informe técnico IT CAY/OAN 2006-10 describe el ruido de fase que introducen estos equipos. Se ha situado un módulo DA 36 en el radiotelescopio de 40 m y otro en la sala de comunicaciones de las oficinas, de modo que la señal de 5 MHz del maser está disponible en este edificio.

El traslado del maser de hidrógeno era delicado ya que se debía tratar de impedir que las vibraciones modifiquen la cavidad o averíen el equipo. El maser está situado sobre una mesa con ruedas sin amortiguación. Adosada a las patas de la mesa de soporte hay una regleta de alimentación de corriente continua desde la que parte un cable de 1 m hasta el maser. El peso

del máser es de 50 kg aproximadamente y dispone de dos asas laterales que le permiten ser alzado por personas en ambos lados. La mesa dispone de una bandeja inferior en la que hay dos baterías de 28 V cuyo peso excede los 50 kg. Dado que el traslado de todo el conjunto resultaba muy aparatoso, el máser se llevó sobre las ruedas de la mesa en el interior de los edificios del radiotelescopio de 14 m y de 40 m y fuera de los edificios se movieron la mesa con sus baterías y el máser por separado aunque conectados entre sí.



Figura 5: Detalle de la regleta en la mesa de soporte del maser. El cable que une el máser con las baterías no es directo y pasa por la regleta, lo que permitió fácilmente su prolongación.

Para amortiguar las vibraciones en el interior de los edificios se colocó un neumático de 70 cm de diámetro entre la mesa de soporte y el piso inferior del máser. Fuera de los edificios la mesa se llevó rodando hasta la furgoneta y tras ella el máser portado por 4 personas. Durante esta operación las baterías y el máser estaban unidos por un cable de 6 m de longitud que sustituyó al original de 1 m. En la furgoneta se colocó el máser sobre una superficie de material almohadillado como el que se emplea para proteger las antiguas cintas de VLBA.

## 5. Error de comunicación receptor - antena GPS

Tras trasladar la antena GPS al extremo superior del mástil de la estación meteorológica y el receptor TrueTime a la sala de backends del radiotelescopio de 40 m se comunicaron ambos a través de la fibra óptica monomodo que se describe en el informe IT OAN/CAY 2005-09. La conexión resultó fallida porque el receptor no recibía señal alguna por ninguna de las cuatro fibras que hay en la manguera. La avería podía estar localizada en uno o varios de los siguientes elementos: antena GPS, cable de antena, emisor de fibra óptica Ortel 3111A, receptor de FO Ortel 4111A, cable RG58 o/y receptor GPS. Para discriminar se hicieron varias pruebas:

- Se inyectó una señal óptica de un láser rojo en cada uno de los conectores de la fibra óptica en el extremo de la torre meteorológica y se proyectó la luz sobre una hoja transparente de papel en el extremo de la sala de backends. El resultado fue negativo. Esta misma prueba se hizo en una fibra multimodo de longitud similar y resultó positiva. A pesar de ello esta prueba resulta poco concluyente porque la fibra monomodo emplea una frecuencia de transmisión de 1300 nm, en el infrarrojo cercano. Esta frecuencia, común a las fibras monomodo y multimodo no es visible. Además el nivel de potencia que se transmite es muy pequeño para grandes distancias.
- Se inyectó una señal de test de un generador de señales (Rohde & Schwarz SMR-40) en el extremo donde estaba el emisor de Ortel y se intentó detectó en el otro con un analizador de espectros (HP xxx). En un extremo se utilizó un aislador de corriente continua que impedía el paso de la señal de continua generada por el Ortel 311A hacia el generador de señales y una T de aislamiento en el otro extremo que permitía alimentar el Ortel 411A empleando una fuente de alimentación y que impedía el paso de la señal de continua hacia el analizador de espectros. Se probó una frecuencia de 1100 MHz con diferentes niveles de señal, desde -30 dBm hasta 10 dBm. En ningún caso se detectó señal. En la figura 6 se muestra el montaje empleado. Esta prueba permitió descartar un mal funcionamiento de la antena GPS.

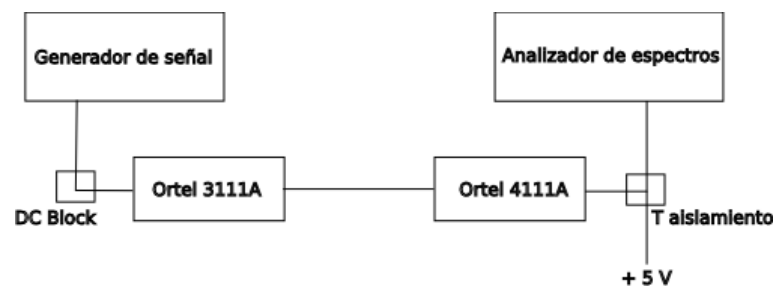


Figura 6: Montaje de medida para probar el conjunto emisor - FO - receptor. Este montaje se hizo en el campo empleando la FO de 450 m y en el laboratorio empleando un latiguillo de 2 m.

- A pesar de la prueba anterior en el laboratorio se probó el conjunto: antena, receptor y un cable RG58 de 20 m. Se situó el receptor en el laboratorio, y la antena en el suelo de la calle. Se detectaron hasta 6 satélites con niveles de señal de hasta 12 en algunos casos. Las unidades son arbitrarias y propias del receptor GPS de TrueTime. Estos niveles oscilan en un intervalo similar de valores al del equipo gemelo del Observatorio de Madrid. Esta prueba permitió descartar un mal funcionamiento del receptor GPS, del cable de prueba y de la antena.
- Se encargó un latiguillo de fibra monomodo de 2 m con conectores FC tipo R y pulido APC. Se iluminó por un extremo con una luz roja de láser para verificar su continuidad. Esta prueba fue positiva.
- Se repitió el montaje de la figura 6 en el laboratorio empleando esta vez un latiguillo de FO monomodo de 2 m de longitud. No se detectó en ningún momento señal del generador



de señales en el analizador de espectros. Durante las pruebas se abrió el emisor para poder situar una sonda antes del láser y verificar que se observaba la señal de radiofrecuencia de entrada. Dado que esta señal se detectaba y que el latiguillo estaba íntegro, se supuso, *erróneamente*, que el receptor podía estar averiado.

- Se intentó comprobar que el emisor generaba una señal en el infrarrojo iluminando con el extremo del latiguillo de FO un diodo mientras se medía la corriente que generaba. El diodo genera corriente cuando es iluminado (por luz visible y probablemente infrarroja). Se hicieron pruebas con diodos de AsGa y de PIn, en ambos casos con resultados negativos. En ningún caso se retiró la cubierta protectora de los diodos.
- La prueba definitiva se hizo tras descubrir que el sistema emisor - receptor de Ortel dispone de un sistema de monitorización del estado del enlace de FO. Este sistema no está documentado por TrueTime, aunque sí por Ortel, y se describe en la siguiente sección. El sistema se probó en el laboratorio con un latiguillo de FO monomodo de 2 m de longitud. Tras realizar esta prueba se verificó que tanto el emisor como el receptor de Ortel funcionaban correctamente y que el causante de la avería era la FO de 450 m que une el receptor GPS TrueTime XL-DC y su antena GPS. Esta fibra se solicitó en el momento de la compra, de exterior y con protección contra roedores, pero la empresa entregó otra que no cumplía estos requisitos.

## 6. Sistema de monitorización de fibra óptica

El conjunto emisor - receptor de FO está compuesto por los módulos Ortel 4111A y 3111A. El emisor de FO, Ortel 3111A, recibe una señal de RF, que utiliza para modular una portadora en el infrarrojo cercano. La señal óptica de 1350 nm se transmite por una fibra monomodo hasta el receptor Ortel 4111A. Este recibe la señal óptica modulada con una señal de RF a través del conector de fibra óptica. La extrae y la transmite a través del conector de RF. El sistema completo se emplea para transportar señales analógicas de RF en el intervalo de frecuencia 950-1750 MHz.

El sistema tal y como se entregó por TrueTime no dispone de un sistema de monitorización del flujo de señal y por tanto, en caso de avería no es posible discernir su causa. La documentación aportada por Ortel proporciona suficiente información para fabricar este sistema. El sistema reside junto al receptor Ortel 4111A, que dispone de los siguientes conectores de entrada - salida:

- Un conector FC/APC tipo R de entrada para FO monomodo.
- Un conector SMA de salida con la señal de la antena y de entrada de 5 V DC que alimenta el receptor. La alimentación la proporciona el receptor GPS TrueTime a través de su entrada de antena GPS.
- Un cable multihilos con los siguientes elementos:
  1. Hilo naranja. Muestra el estado de la alimentación del equipo.

2. Hilo marrón. Muestra las alarmas.
3. Hilo amarillo. Muestra la potencia recibida por la FO.
4. Hilo negro. Tierra.
5. Hilo rojo. Alimentación de +5 V.

Se utilizó un LED verde para mostrar el estado de alimentación del receptor Ortel. El hilo naranja se conectó al cátodo del LED verde y el hilo negro de tierra al ánodo.

Se utilizó un LED amarillo para mostrar las alarmas. La alarma se dispara cuando el nivel de señal recibido por la FO es inferior a 0,1 mW. El ánodo del LED se conectó a tierra, y el cátodo en paralelo a los hilos marrón y rojo.

Finalmente se utilizó un voltímetro de 30 V modificado para medir el nivel de potencia en la fibra óptica. La modificación consistió en sustituir la resistencia de 30 k $\Omega$  por una de 1 k $\Omega$ . La escala del voltímetro ahora es incorrecta y el tope de escala, que marca 30 V, se corresponde en realidad con 1 V. El ánodo se conectó al hilo amarillo y el cátodo a tierra.

La figura 7 muestra un esquema del cableado y la figura 8 una fotografía del sistema definitivo por la cara trasera del panel montado en el rack. La figura 9 muestra el aspecto del panel frontal con anotaciones sobre la fotografía.

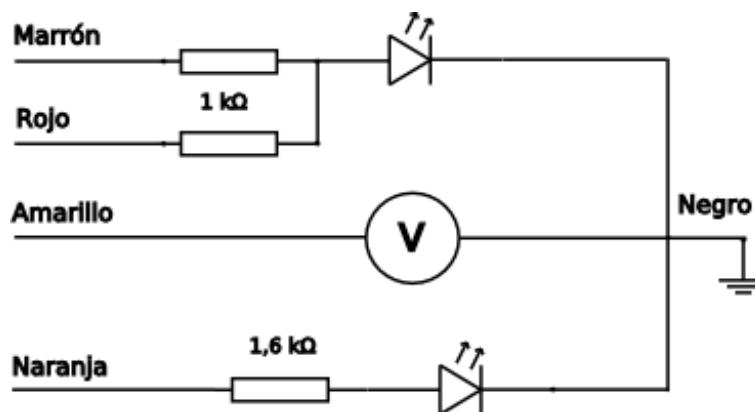


Figura 7: Esquema del sistema de monitorización de la FO. Todos los hilos de colores parten del receptor de FO, Ortel 4111A

Durante el funcionamiento normal de los equipos emisor y receptor de fibra óptica, el voltímetro debería marcar el tope de escala y el LED verde (derecha) debería estar iluminado. Si el LED amarillo (izquierda) se ilumina significa que el nivel de potencia de la señal óptica es insuficiente y no se recibe señal de radiofrecuencia. En este último caso el voltímetro debería marcar 1/10 del tope de escala o menos. En caso de falta de alimentación del receptor de FO, todos los LEDs permanecen apagados y el voltímetro marca cero.

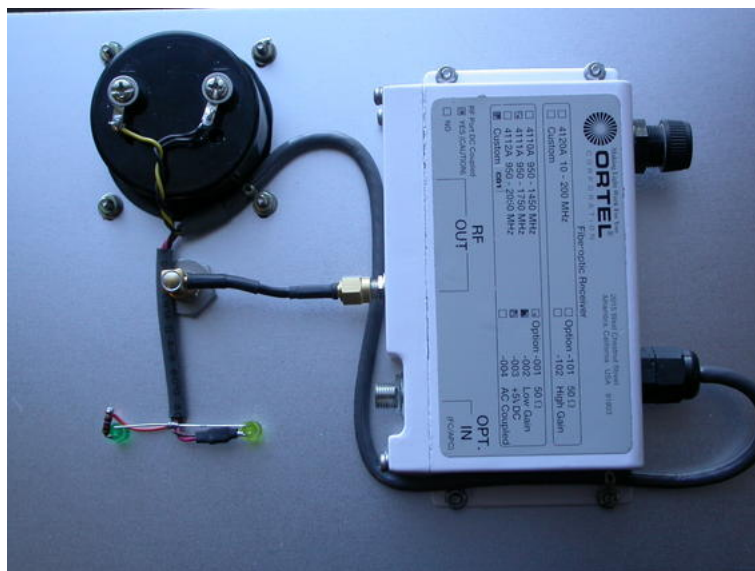


Figura 8: Cableado definitivo en el receptor de FO de Ortel 4111A. Parte trasera del panel



Figura 9: Frontal del panel de conexiones en la sala de backends correspondiente a la torre meteorológica. El tope de escala del voltímetro es incorrecto y donde marca 30 V debe marcar 1 V. El LED izquierdo amarillo muestra el estado de las alarmas, y el verde el de alimentación del receptor de FO.

## 7. Montaje temporal para la monitorización del máser. Resultados

La monitorización del máser se hizo temporalmente situando la antena GPS sobre una varilla de plástico adosada al alfeizar de la ventana de la sala de backends en la torre del radiotelescopio de 40m con cinta americana. Para impedir la entrada de agua y frío la ventana se mantiene semicerrada con una abrazadera de plástico. Esta ubicación es muy inadecuada ya que tanto la torre como la parábola bloquean una sección importante del cielo (todo el Sur y parte del Oeste y del Este). Cuando la antena no se utiliza se la intenta mantener apuntando al cenit para que no bloquee la visión de los satélites de la parte Norte del cielo.

Habitualmente se sigue un sólo satélite, aunque momentáneamente a veces se puede recibir señales de hasta 4 de ellos. Esto obliga al receptor a trabajar en modo 1D y la monitorización del máser muestra poca precisión. La figura 10 muestra la evolución de la deriva del máser antes y después del traslado.

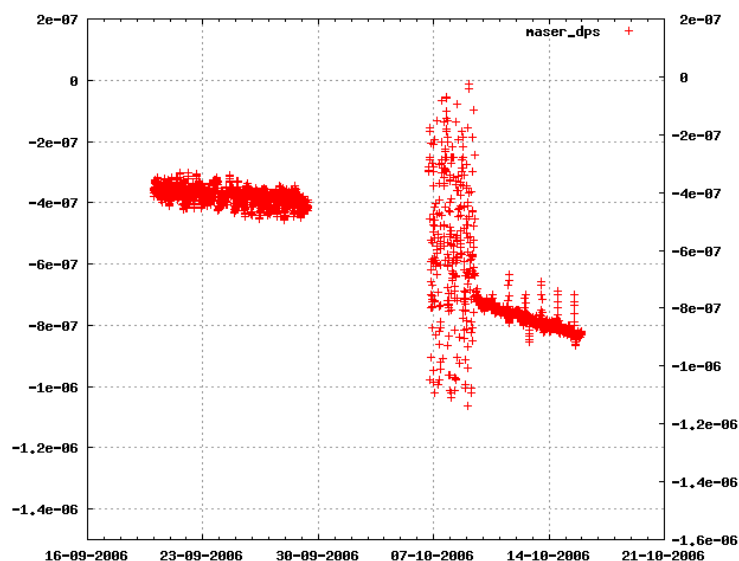


Figura 10: Retardo del máser en función del tiempo antes y después del traslado del máser al edificio del radiotelescopio de 40 m.

El primer tramo de la figura 10 hasta el día 29 de Septiembre, corresponde a la deriva antes del traslado del máser. El periodo vacío entre el día 30 de Septiembre y el día 7 de Octubre se debe a la avería de la línea entre la antena GPS y el receptor GPS. Durante ese tiempo se trató de diagnosticar y arreglar el problema infructuosamente. La instalación de la antena en el alféizar de la ventana de la sala de backends se hizo el día 7 de Octubre. Desde entonces hasta el día 9 de Octubre se observa una fuerte oscilación debida a que el cuarzo del máser no estaba enganchado a la línea de la cavidad. Durante el traslado el conmutador MODE de la puerta frontal del máser estaba en la posición «PHASE». En cuanto se situó en la posición «FREE RUN» el cuarzo se enganchó a la cavidad (día 10 de octubre) recuperando su funcionamiento normal.

La deriva del máser en función del tiempo muestra su comportamiento habitual a partir del día 10 de Octubre, salvo por «picos» que se reproducen con una periodicidad de 24 horas. Estos picos probablemente se deben a la imposibilidad de conectarse a un número grande de satélites y al funcionamiento en modo 1D del receptor. También se puede observar que, en el emplazamiento temporal, a pesar de realizar el seguimiento de un sólo satélite, la dispersión en la medida es menor ( $5 \cdot 10^{-8}$ ) que antes del traslado ( $10^{-7}$ ). El nuevo cable es más corto y se mantiene en la sala de backends bajo una temperatura constante. Tan sólo 50 cm de cable están expuestos a la temperatura exterior. Este comportamiento podría indicar un problema con el cable de antena en el antiguo emplazamiento.

## 8. Actualización del PC de control del máser

A comienzos de noviembre se sustituyó el PC con la base de datos del máser por uno más potente y con una versión moderna del núcleo de Linux (2.6.17). Se instaló Debian Sarge con rutas de «backports». En esta versión del núcleo de Linux el control de la tarjeta GPIB no funciona correctamente. Se hicieron numerosas pruebas para conseguir un funcionamiento correcto de las tarjetas GPIB y el conversor Ethernet - GPIB con Linux, pero la mayor parte de ellas resultaron fallidas. Estas pruebas se describen con detalle en un informe posterior.

La configuración final que se emplea para la medida de los retardos consiste en el uso de un dispositivo GPIB-ENET de National Instruments, un núcleo Linux 2.6.8, y la versión 2.3 de NATINST. La configuración del dispositivo ENET se puede hacer empleando la aplicación `gpibexplorer` que a su vez lanza el comando `EthernetConfig`. En el momento de la redacción del informe, la dirección GPIB asignada al dispositivo ENET es 0 y la asignada al contador HP53131 es la 3.

## Referencias

- [1] *Fiberoptic Link Installation Guide*, Series: 5100 Series L-Band. INST-5701 Rev C. Ortel. A Division of EMCORE