## Nueva ubicación de la antena GPS en el CAY

P. de Vicente
Informe Técnico IT-OAN 2005-9

ÍNDICE 1

# Índice

1.	Introducción	2
2.	Reubicación de la antena GPS	2
3.	Estimación del retraso en el cable	5
4.	Posiciones importantes en el centro Astronómico de Yebes	5
5.	Posiciones absolutas. 1993	6
6.	Posiciones relativas de diferentes emplazamientos. 2005 6.1. Antena GPS móvil	<b>7</b> 7 8
7.	Conclusión: posiciones absolutas	8

1 INTRODUCCIÓN 2

#### 1. Introducción

El Centro Astronómico de Yebes dispone de un receptor GPS Truetime XL-DC para la determinación del tiempo UTC, su difusión dentro de la red local del CAY y la medida de la deriva del máser de hidrógeno, tal y como se describe en el informe técnico 2005-5. Este receptor recoge las señales de 6 satélites de la constelación GPS simultáneamente.

El receptor TrueTime XL-DC dispone de un módulo que permite difundir la hora UTC a toda la red local empleando el protocolo NTP. Este protocolo permite sincronizar los ordenadores con el servidor maestro de tiempo con una precisión de  $\mu$ s compensando los retardos introducido por los cables y equipos electrónicos activos. A pesar de ello es adecuado que aquellos ordenadores que se quieran sincronizar con mayor precisión estén lo más próximo posible al stratum 0, o servidor de tiempos.

La construcción del radiotelescopio de 40m y el cese de las observaciones en el radiotelescopio de 14m nos hizo considerar conveniente el traslado del receptor GPS desde la sala donde se alojaba anteriormente, en el radiotelescopio de 14 m, al edificio del radiotelescopio de 40 m. De este modo la hora se difunde a los equipos de control de la antena y de los receptores y backends reduciendo la longitud de los cables y el número de equipos electrónicos por los que debe circular la señal. La antena GPS, sin embargo, debe permanecer alejada del radiotelescopio de 40 m para que ni el reflector primario ni la torre le hagan sombra o causen reflexiones espúreas. Por ello se decidió situar la antena GPS en el extremo superior del mástil de la estación meteorológica, en un área alejada de los edificios del CAY. La distancia desde la antena hasta el receptor GPS es de aproximadamente 500 m, lo que impide el uso de un cable estándar por sus elevadas pérdidas. Este informe describe el traslado del terminal GPS y de la antena a su nueva ubicación y recoge las coordenadas de los emplazamientos más importantes en la parcela del CAY.

#### 2. Reubicación de la antena GPS

La antena GPS se ha alojado en el extremo superior del mástil de la estación meteorológica a una altura de 10 m sobre el suelo. En su parte inferior dispone de un tubo de PVC hueco que se enrosca a la propia antena y que protege la conexión entre el conector del cable de antena y el conector de esta. El tubo de PVC de la base se aloja en el interior del mástil de aluminio, utilizando una pieza fabricada en el CAY.

Para transportar la señal de la antena GPS se empleó el mismo cable que existía en la ubicación previa. Este cable de teflón expandido es de alta estabilidad y tiene una impedancia de  $75~\Omega$ , aunque las especificaciones del fabricante del GPS indican que el cable debe ser de  $50~\Omega$ . El cable finaliza en un módulo (Ortel 3112A) conversor de radiofrecuencia a señal óptica. Este dispositivo modula una señal óptica y la envía a través de una fibra óptica hasta un modulo similar (Ortel 4112A) que demula la señal y extrae la señal de radiofrecuencia de nuevo. El módulo transmisor funciona con una tensión de 12 V de continua que le proporciona una fuente de alimentación. La fuente de alimentación puede funcionar con una tensión de entrada de 220 V y 50 Hz que se le proporciona desde una de las cajas de intemperie de la estación meteorológica. Tanto el módulo transmisor como la fuente de alimentación se alojan en una caja de



Figura 1: Torre meteorológica con la antena GPS en la parte superior.



Figura 2: Detalle de la antena GPS en el mástil de la torre meteorológica.

intemperie independiente en el mástil de la estación meteorológica. Se instaló un magnetotérmico individual para el módulo transmisor. La longitud del cable desde la antena GPS hasta el módulo transmisor de fibra óptica es de 8,85 m. La imágen 3 muestra la torre meteorológica y las cajas de intemperie.

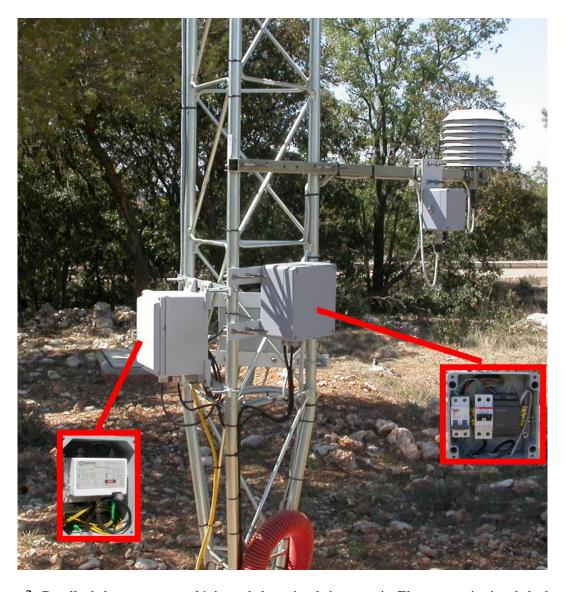


Figura 3: Detalle de la torre meteorológica y de las cajas de intemperie. El magnetotérmico de la derecha es el de la estación meteorológica y el de la izquierda el del transmisor de FO

La fibra óptica de 480 m de longitud discurre a través de las canalizaciones subterráneas del CAY hasta la torre del 40 m. Dispone de cuatro hilos, de los que sólo se emplea uno.

#### 3. Estimación del retraso en el cable

Para que el terminal GPS determine correctamente la posición de la antena y el tiempo UTC es necesario incluir el retardo de la señal al propagarse por los cables. La constante dieléctrica de la fibra óptica es similar a la de los cables de radiofrecuencia, y se ha estimado una velocidad de propagación de 2,104 10<sup>8</sup> ms<sup>-1</sup>. Los conversores de señal óptica a radiofrecuencia y viceversa introducen un retardo de 180 ns. La tabla 1 resume los retardos introducidos en la señal:

Efecto que introduce retardo	Retardo (ns)
Cable de antena (8,85 m)	42
Fibra optica: (480 m)	2285
Emisor de señal	90
Receptor de señal	90
Cable receptor terminal GPS (1 m)	4,7
Total	2511,7

Cuadro 1: Retardo introducido en el cable de la señal de radiofrecuencia

## 4. Posiciones importantes en el centro Astronómico de Yebes

Se desea conocer la posición de los siguientes emplazamientos:

- Radiotelescopio de 14m
- Radiotelescopio de 40m
- Antena GPS TrueTime. Posición nueva
- Antena GPS TrueTime. Posición antigua
- Antena GPS Trimble

La posición del radiotelescopio de 14 m se refiere al punto de corte entre los ejes de acimut y de elevación. En el radiotelescopio de 40 m, donde los dos ejes no se cortan, la posición del radiotelescopio es el punto en el eje de azimut más próximo al eje de elevación de la antena. En las dos próximas secciones se describen las medidas realizadas en el año 1993 y en la actualidad (2005) para determinar las posiciones de los emplazamientos anteriores.

Las coordenadas que ofrece tradicionalmente el Instituto Geográfico Nacional están referidas al datum ED50 o elipsoide de Hayford. Sin embargo en este informe estamos interesados en las coordenadas en el sistema WGS84 ya que las coordenadas que proporciona el sistema GPS y las observaciones de VLBI están referidas a dicho sistema.

#### 5. Posiciones absolutas. 1993

Estas medidas sirvieron para determinar por primera vez la posición del radiotelescopio de 14 m y de la antena GPS en el antiguo emplazamiento en el sistema WGS84. Se siguieron dos tipos de procedimientos.

El primero de ellos se hizo con una cinta métrica y una plomada y aunque no resultó muy exacto ofreció una idea aproximada de la posición relativa de ambos puntos. Esta medida se realizó en dos días diferentes y los resultados se repitieron con 1 cm de error. El método seguido consistió en medir la distancia entre ambos lugares, determinar la altura sobre el suelo, considerando que el suelo está a la misma cota para ambos sitios y determinar el ángulo que forma el Norte con la línea que conecta el centro del radiotelescopio y la antena GPS (emplazamiento antiguo).

En el segundo procedimiento se emplearon teodolitos. Se materializó el centro del radiotelescopio haciendolo girar y observando simultáneamente con varios teodolitos. Aparentemente la segunda medida debió ser más exacta que la primera pero la discrepancia entre ambas era tan apreciable que puso en duda la precisión de una de ellas. En la tabla 2 se consigna la posición relativa de la antena GPS referida al radiotelescopio de 14 m siguiendo los dos métodos.

Método	$\Delta N$ (m)	$\Delta O$ (m)	$\Delta H$ (m)
Cinta métrica	4,64	18,54	-3,84
Teodolitos	4,55	24,27	-2,19

Cuadro 2: Posición relativa de la antena GPS TrueTime en el antiguo emplazamiento referida al radiotelescopio de 14 m. Medidas realizadas en 1993.

La tabla 3 recoge las coordenadas determinadas para la antena GPS en su antiguo emplazamiento y el centro del radiotelescopio de 14 m por diferentes métodos.

Lugar	Método	Sist. de ref.	Latitud (N)	Longitud (W)	Altura (m)
Antena GPS	GPS	WGS84	40° 31' 27,11"	03° 05' 23,05"	985,4
Antena GPS	NASA	WGS84	40° 31' 27,0566"	03° 05' 22,7363"	977,66
RT 14 m	GPS (a)	WGS84	40° 31' 26,96"	03° 05' 22,26"	989,24
RT 14 m	GPS (b)	WGS84	40° 31' 26,96"	03° 05' 22,02"	987,59
RT 14 m	GPS (a)	WGS84	40° 31' 26,91"	03° 05' 21,95"	981,5
RT 14 m	GPS (b)	WGS84	40° 31' 26,91"	03° 05' 21,71"	979,85
RT 14 m	VLBI mm	VLBI	40° 31' 24,89"	03° 05' 21,72"	919,3
RT 14 m	IGN	ED50	40° 31 24,3" '	03° 05' 21,6"	929,57

Cuadro 3: Posiciones absolutas de la antigua antena GPS y del radiotelescopio de 14 m según varios métodos. Medidas realizadas en 1993. (a) significa que la traslación de posiciones de la antena GPS al radiotelescopio se hizo con la cinta métrica y (b) que se hizo empleando teodolitos

La posición de la antena GPS determinada por GPS diferencial (NASA) se realizó utilizando como referencia la posición VLBI de la antena DSS65 de Robledo de Chavela. Se utilizaron dos

receptores en dos vértices del Centro Astronómico de Yebes y utilizando teodolitos se refirió la posición de la antena GPS TrueTime a uno de ellos.

Las coordenadas del radiotelescopio de 14 m según los métodos GPS y NASA se obtuvieron trasladando las coordenadas de la antena GPS según los dos procedimientos comentados más arriba. Las coordenadas VLBI son poco precisas porque se obtuvieron con una sóla fuente de radiocontinuo y durante poco tiempo (primer experimento de VLBI realizado en Yebes).

### 6. Posiciones relativas de diferentes emplazamientos. 2005

#### 6.1. Antena GPS móvil

Se ha medido la posición de las cuatro primeras ubicaciones de la lista de la sección 4 con un receptor GPS móvil capaz de observar 8 satélites simultáneamente. Las medidas son aproximadas ya que en muchos de los casos las paredes o estructuras metálicas próximas reducían el número de satélites observables. Los resultados se resumen en la tabla 4. En la columna de la altura se suma la altura desde el suelo si las medidas se han realizado con la antena en el suelo.

Lugar	Latitud (N)	Longitud (O)	Altura	N. de satélites
Antena GPS. Nueva	41° 31' 27,1"	3° 05' 24,9"	967 + 10	7
Antena GPS. Antigua	41° 31' 27,1"	3° 05' 22,1"	955 + 6,75	4
RT 14 m	41° 31' 27,2"	3° 05' 21,9"	980	5
RT 40 m (puerta)	41° 31' 28,7"	3° 05' 13,2"	957 + 22	4

Cuadro 4: Coordenadas de algunos emplazamientos referidas al elipsoide WGS84 con antena GPS móvil.

La medida más fiable es la correspondiente al nuevo emplazamiento de la antena GPS. El resto no son muy fiables porque las estructuras próximas impedían la recepción de la señal procedente de algunos de los satélites. En la tabla 5 se ofrecen las posiciones de los emplazamientos relativos a la posición del radiotelescopio de 14 m. La distancia (d) en metros en dirección Norte-Sur se ha calculado aproximando la superficie terrestre por un esfera considerando que:

$$d_{ns} \simeq r\delta\theta \simeq (6378137, 0+h)\,\delta\theta\tag{1}$$

y en dirección Este-Oeste:

$$d_{ew} \simeq \frac{r\delta\theta}{\cos(lat)} \simeq \frac{(6378137, 0+h)\delta\theta}{0.75} \tag{2}$$

donde  $\delta\theta$  es la diferencia angular entre las posiciones absolutas expresada en radianes y h=980 m.

La distancia Este-Oeste entre el radiotelescopio de 14m y el antiguo emplazamiento de la antena GPS difiere mucho de los 18 m que se obtuvieron en las medidas realizadas en el año 1993 lo que indica que las medidas con el GPS móvil no son muy fiables.

Lugar	Norte (m)	Oeste (m)	Altura (m)
Antena GPS. Nueva	-3,1	92,8	-3,0
Antena GPS. Antigua	-3,1	6,2	-18,2
RT 14 m	0,0	0,0	0,0
RT 40 m (puerta)	49,5	269,0	-2,0

Cuadro 5: Posiciones relativas referidas al radiotelescopio de 14 m medidas con una antena GPS móvil. Medidas realizadas en 2005.

#### 6.2. Ortofoto y cinta métrica

Estas medidas se han realizado empleando una ortofoto proporcionada por el sistema SIG-PAC del Ministerio de Agricultura (http://sigpac.mapa.es/fega/visor/). La ortofoto se puede observar en la imagen 4. La precisión de las medidas relativas en latitud y longitud es mejor que en el caso anterior. Este sistema sin embargo no ofrece información sobre la diferencia de altura. En la tabla 6 hemos consignado las diferencias de altura obtenidas empleando una cinta métrica y considerando que el suelo de los tres primeros emplazamientos está al mismo nivel. El emplazamiento de la nueva antena GPS no aparece en la ortofoto y la posición es una estimación.

Para estimar la altura del centro del radiotelescopio de 40 m hemos utilizado un mapa local realizado por el topógrafo Jose Mérino. La diferencia de altura entre el terreno del radiotelescopo de 40 m y el del 14 m es de aproximadamente 3 m. El eje de elevación del radiotelescopio de 40 m está a 22 m del suelo y el del 14 m a 10.6 m. Por tanto la diferencia de alturas entre el centro del radiotelescopio de 14 m y el del 40 m es:

$$\delta h = h_{40} - h_{14} = (h+22) - (h+3+10.6) = 8.4 \tag{3}$$

donde h es la altura sobre el elipsoide en el terreno del radiotelescopio de 40 m.

Lugar	Norte (m)	Oeste (m)	Altura (m)
Antena GPS. Nuevo emplazamiento	5,1	72,2	-0,6
Antena GPS. Antiguo emplazamiento	3,4	18,3	-3,8
Antena GPS Trimble	82,8	-66,45	?
Radiotelescopio 14m	0	0	0
Radiotelescopio 40m	59,0	-215,0	8,4

Cuadro 6: Posiciones relativas referidas al radiotelescopio de 14 m empleando la ortofoto, mapas topográficos y cinta métrica. Medidas realizadas en 2005

## 7. Conclusión: posiciones absolutas

La tabla 7 recoge las coordenadas de los emplazamientos importantes utilizando dos métodos. Ortofoto: las coordenadas están referidas a la posición del radiotelescopio de 14 m obtenida



Figura 4: Ortofoto del Centro Astronómico de Yebes.

por VLBI geodésico (gran precisión) empleando la ortofoto y mapas topográficos locales para determinar la altura. GPS: las coordenadas se obtienen de medidas GPS realizadas con los propios equipos.

Emplazamiento	Latitud (N)	Longitud (O)	Altura (m)	Método
Radiotelescopio 14m	40° 31' 26,968"	3° 05' 21,893"	980,946	VLBI (EUROPE3)
Antena GPS. Nueva	40° 31' 27,1"	3° 05' 24,9"	977	GPS (pdop 2,73)
Antena GPS. Nueva	40° 31' 27,13"	3° 05' 24,2"	980,34	ortofoto
Antena GPS. Antigua	40° 31' 27,07"	3° 05' 22,6"	978	GPS (pdop 3.39)
Antena GPS. Antigua	40° 31' 27,07"	3° 05' 22,48"	977,15	ortofoto
Antena GPS Trimble	40° 31' 29,66"	3° 05' 19.05"	976	GPS (pdop 1,70)
Antena GPS Trimble	40° 31' 29,64"	3° 05' 19.74"		ortofoto
Radiotelescopio 40m	40° 31' 28,87"	3° 05' 12.71"	989,9	ortofoto

Cuadro 7: Posiciones absolutas de los principales emplazamientos. Cuando el método es la ortofoto se utiliza la posición VLBI del 14 m como posición de referencia