

Robotización del Observatori Astronòmic del Montsec

J.Colomé¹, D.Fernández^{2,3}, J.Isern^{1,4}, X.Palau⁵, J.Torra^{1,2}, F.J.Castander^{1,4}, F.Figueras^{1,2}, E.García-Berro^{1,6}, C.Jordi^{1,2}, X.Luri^{1,2}, I.Ribas^{1,4}

¹Institut d'Estudis Espacials de Catalunya (IEEC), Gran Capità 2-4 (Edifici Nexus), 08034 Barcelona

²Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, Av.Diagonal 647, 08028 Barcelona

³Consorci del Montsec, Plaça Major 1, 25691 Àger (Lleida)

⁴Instituto de Ciencias del Espacio (CSIC), Gran Capità 2-4 (Edifici Nexus), 08034 Barcelona

⁵Fundació Joan Oró, Travessera de les Corts 272, 08014 Barcelona

⁶Escola Politècnica Superior de Castelldefels, Universitat Politècnica de Catalunya, Av.Canal Olímpic s/n, 08860 Castelldefels (Barcelona)

Resumen

En los próximos meses entrará en funcionamiento en Cataluña el observatorio astronómico con el telescopio más grande de su territorio, con un diámetro de 80 cm: el Observatori Astronòmic del Montsec (OAM). Actualmente, el observatorio se encuentra en la fase de comisionado, habiéndose finalizado las fases de diseño y construcción. En todas ellas está presente el objetivo principal del proyecto: garantizar el funcionamiento telemático del observatorio para la realización de observaciones astronómicas, ya sea a través de un modo de control remoto o robótico. En este documento presentamos el sistema que se ha diseñado para garantizar una alta fiabilidad y eficiencia de este modo de funcionamiento. Se hace una descripción de los instrumentos y el software, y se analizan algunas de las características del funcionamiento del observatorio junto con las soluciones previstas para dar respuesta a situaciones críticas.

1. Introducción: telemática y robotización

El Observatori Astronòmic del Montsec (OAM) se caracteriza por el uso de la telemática para garantizar su funcionamiento en los modos de control remoto o robótico. Entendemos por telemática a la combinación de las telecomunicaciones y la informática para la comunicación de datos entre sistemas y dispositivos, mecanismo imprescindible para disponer de un equipamiento automático. Este equipamiento puede ser gestionado de forma remota o de forma robótica dependiendo de que las decisiones de funcionamiento las tome un usuario desde una máquina remota o las tome el propio sistema siguiendo unas pautas programadas, sin la necesidad de intervención humana. Para el caso de los observatorios y, en concreto, para el OAM, la utilización de esta tecnología permite optimizar el tiempo útil para la observación astronómica y, como consecuencia, aumentar su rendimiento y disminuir los gastos de explotación. Para más información sobre las ventajas de disponer de un observatorio con un funcionamiento telemático, consultar [1] y [2].

Como hemos dicho, el uso de la telemática es el único camino para conseguir el control remoto o robótico de un observatorio, pero se deben cumplir otra serie de requisitos para garantizar que no sea necesaria la intervención humana durante el funcionamiento del sistema. Estos son los requisitos principales:

- Instrumentación astronómica controlable de forma automática.
- Dispositivos para la determinación del estado del observatorio, también controlables de forma automática.

- Sistema de comunicaciones capaz de garantizar el control remoto en tiempo real y el envío de un gran volumen de datos.
- Sistema informático robusto y fiable para el control de la instrumentación, el control de las observaciones astronómicas, el tratamiento y la gestión de los datos recogidos y la comunicación con usuarios internos y externos al observatorio.
- Sistemas de seguridad de alta fiabilidad.

En este documento analizamos como se han resuelto cada uno de estos puntos en la fase de diseño del OAM y como se están implementando en la fase de comisionado, que está previsto que termine en los próximos meses.

2. Instrumentación astronómica

Todo el equipamiento científico del OAM está preparado para ser controlado automáticamente a través del sistema informático. A continuación presentamos cada uno de los elementos que conforman este equipamiento y los mecanismos utilizados en cada caso para su automatización. Para conocer más detalles del instrumental del observatorio, ver [3].

2.1 Telescopio

El OAM dispone de un telescopio de 80 cm de apertura fabricado por Optical Mechanics, Inc. (OMI, ver Fig.1), con una configuración óptica Ritchey-Chrétien a $f/9.6$ y con una montura ecuatorial de tipo horquilla. Dispone de motores en los ejes de ascensión recta y declinación (motores AVS-1700 Servo Drives, M234, de Bearing Engineers), para realizar automáticamente los movimientos de apuntado y seguimiento, y en el soporte del espejo secundario (motor AVS-1700 Servo Drives, M233, de Bearing Engineers), para realizar el movimiento de enfoque. También lleva acoplada una rueda de filtros motorizada con la capacidad de cambiar de forma automática el filtro utilizado para cada observación (mismo modelo del motor que para los ejes de RA y DEC). Colocados en la rueda de filtros, se encuentra un juego completo de filtros fotométricos (Custom Scientific, Inc.) del sistema Johnson-Cousins (U, B, V, R, I). Finalmente, el espejo primario está protegido con unas tapas de apertura automática mediante dos motores (motores Molon CHM-1201-8M, de MacMaster).

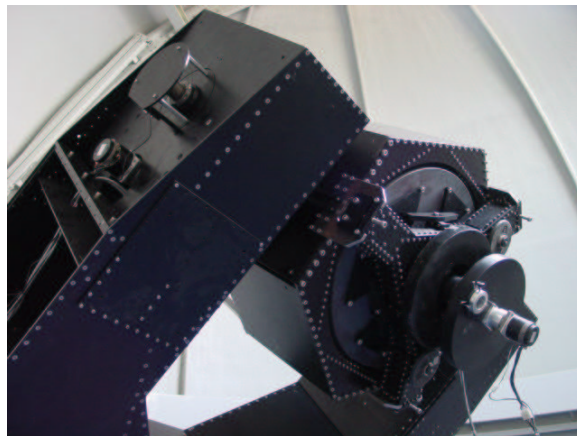


Fig.1: Telescopio OMI RC08 del OAM

El sistema de control de los distintos motores enumerados se realiza en base a la utilización de las tarjetas electrónicas CSIMC (Clear Sky Institute Motion Controllers), fabricadas, como su nombre indica, por la empresa Clear Sky Institute y distribuidas por OMI. Estas tarjetas son las encargadas de transmitir las instrucciones que envía el sistema informático, mediante el software Talon (ver apartado 6.1.), a cada uno de los dispositivos controladores de los motores y, de forma inversa, transmitir al sistema las señales que recibe de los codificadores (de tipo óptico, excepto para la rueda de filtros) y de los marcadores físicos de límite de recorrido, elementos que permiten conocer la posición de cada dispositivo. Una sola tarjeta puede realizar el control de uno o más dispositivos, en función del tipo de señales a transmitir. En este sentido, el telescopio del OAM utiliza un total de cuatro tarjetas, las cuales realizan el control del motor de ascensión recta (RA, tarjeta 1), el motor de declinación (DEC, tarjeta 2), el motor del sistema de enfoque (tarjeta 3) y el motor de la rueda de filtros y los motores de las tapas protectoras del espejo primario (tarjeta 4). La tarjeta 4 también es utilizada para el control de los motores de la cúpula (motores de apertura de las dos compuertas y del movimiento en azimut), a través del sistema detallado en un apartado posterior. La electrónica del telescopio se dispone en la misma montura (ver Fig.2), de forma que las tarjetas se encuentran interconectadas entre sí mediante cables de red y a los dispositivos que controlan mediante cables serie. Finalmente, la comunicación con el software de control Talon se realiza a través de una de las tarjetas, que hace la función de nodo, conectada al ordenador a través de un puerto serie.



Fig.2: Disposición de dos de las tarjetas de control en la montura del telescopio

El diseño de las tarjetas CSIMC permite utilizarlas para distintos dispositivos sin necesidad de realizar variaciones en la electrónica de las mismas. El sistema de automatización que implementa OMI, basado en la utilización del software Talon, está diseñado para que también sea compatible con tarjetas de control del tipo PC39 y versiones posteriores.

2.2 Cúpula

El observatorio dispone de una cúpula de 6.15 m de diámetro de la casa Baader Planetarium GmbH, la cual dispone de motores para realizar el movimiento en azimut y la apertura de las dos compuertas. Ambos motores son controlables automáticamente a través de una caja de control (ver Fig.3), facilitada por el mismo fabricante, que permite la comunicación con una de las tarjetas de control del telescopio (tarjeta 4), utilizando un cable de datos. A través de esta tarjeta el software Talon puede conocer y modificar el valor de la posición en azimut, facilitada por codificadores, y del estado de

las compuertas (abiertas/cerradas), facilitado por sensores magnéticos. El software Talon utiliza un protocolo TTL para la comunicación con los controladores de los motores de la cúpula. Para asegurar el cierre de la cúpula, punto crítico del sistema, se ha diseñado un cierre automático que se activa si falla el cierre controlado por Talon.

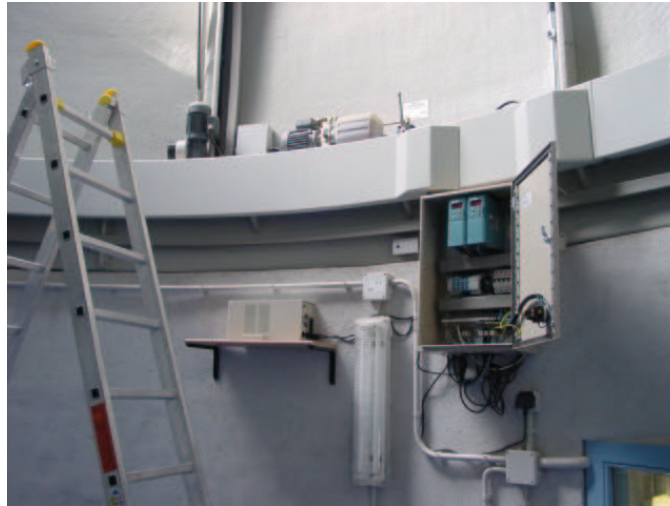


Fig.3: Caja de control de los motores de la cúpula

2.3 Cámara CCD

En la primera fase del observatorio se va a utilizar una cámara CCD IMG42-40 de Finger Lakes Instrumentation como único instrumento post-foco. Esta cámara utiliza un chip Marconi de 2048×2048 iluminado por detrás con una resolución de 0"36/pixel. El sistema electrónico de la cámara permite realizar de forma automática el control de la refrigeración, el obturador, la descarga de imágenes, etc. Estas tareas son controladas mediante el mismo software de control del telescopio (Talon), con el cual se comunica a través de un puerto USB.

3. Instrumentación *housekeeping*

El seguimiento automático del estado del observatorio y su entorno (condiciones meteorológicas, sistema de suministro energético, etc.) se realiza mediante distintos dispositivos, con los cuales el sistema es capaz de comunicarse.

El seguimiento de las condiciones meteorológicas se lleva a cabo con dos estaciones distintas. Una de ellas, de la marca Davis (Fig.4), es controlada directamente por el software de control Talon, permitiendo una respuesta integrada de todo el sistema en el caso que estas condiciones sean adversas. Como sistema de redundancia, se dispone de otra estación meteorológica, propiedad del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, los datos de la cual son utilizados para detectar posibles errores en la estación Davis. La comunicación con la estación meteorológica Davis se realiza a través de un puerto serie, que permite al software Talon conocer los valores de distintas variables críticas para el correcto funcionamiento y la seguridad del observatorio, como son la temperatura, la humedad, la velocidad del viento, etc. La validación de los datos recogidos utilizando la segunda estación meteorológica se hace de forma independiente al software Talon, ya que éste no dispone de tal prestación.

El sistema de suministro energético es un sistema autónomo formado por un grupo electrógeno y un conjunto de acumuladores con varios alternadores. El estado del grupo

es analizado de forma continua por un programa informático que se está elaborando en el IEEC [4], el cual se comunica con el panel de control del grupo a través de un cable serie y una tarjeta de interfaz (IS-03). El programa permite conocer el valor de distintas variables (nivel de combustible, temperatura del motor, etc.), prever los posibles fallos que pueden surgir en su funcionamiento y avisar a los responsables de mantenimiento del observatorio para que los resuelvan. La autonomía del observatorio está condicionada por el consumo de combustible del grupo, el cual está previsto que permita un funcionamiento ininterrumpido durante un tiempo mínimo de tres semanas. En una segunda fase del proyecto se prevé la instalación de placas fotovoltaicas como sistema principal de generación de energía, con lo cual el grupo electrógeno pasará a ser un sistema de soporte y se ampliará el tiempo de autonomía.

Para la seguridad eléctrica de los elementos más críticos, se han utilizado tres SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), monitorizados continuamente por el sistema informático. En caso de caída del suministro eléctrico, estos elementos aseguran un cierre controlado de los equipos informáticos que realizan el control del observatorio y el cierre de las compuertas de la cúpula. Para el caso de tormenta eléctrica, también se dispone de dos pararrayos y de un dispositivo capaz de detectar la aproximación de una tormenta con una alta fiabilidad y unas horas de anticipación (Previstorm, fabricado por la empresa Ingesco). Este elemento permite la desconexión controlada de todos los instrumentos conectados a la red eléctrica con antelación a la tormenta, evitando así posibles daños provocados por la caída de un rayo. El control del dispositivo también se realiza a través del sistema informático de control, con una conexión con cable serie.

Finalmente, en el OAM se dispone de una antena GPS de la marca Garmin, accesible por el software Talon a través de un cable serie, utilizada para la determinación de la base de tiempo con una elevada precisión. Los datos recogidos por esta antena determinan el momento de inicio y final de la observación nocturna, la programación de las distintas observaciones, etc., cálculos realizados por Talon.

4. Sistema de comunicaciones

El OAM tiene un acceso a Internet de alta velocidad, requisito imprescindible para poder garantizar el control remoto del observatorio. El acceso se realiza a través de un radioenlace (Fig.4) con la Universitat de Lleida, de 10 Mbps y de alta precisión, desde la que se accede al Anillo Científico, red de fibra óptica que une las universidades y centros de investigación de Catalunya. El sistema informático del observatorio utilizará el sistema de comunicaciones para la gestión del control remoto, para enviar las imágenes recogidas y para enviar avisos sobre el estado del observatorio.



Fig.4: Antena de comunicaciones y estación meteorológica Davis

5. Sistema informático de control

El sistema informático del OAM realiza el control de todos los elementos del observatorio para asegurar su funcionamiento, controlado remotamente o robóticamente, de forma segura (ver esquema en la Fig.5). Está compuesto por los elementos necesarios para la gestión de la red de área local y la conexión a Internet (*rack* de comunicaciones, *router*, etc.), de un servidor y tres ordenadores PC. La función de los ordenadores en relación con la gestión del instrumental del observatorio es la siguiente:

- Servidor: ordenador con dispositivos para realizar copias de seguridad y para el tratamiento y almacenaje de las imágenes. Monitoriza el estado del SAI al que está conectado y gestiona la alarma generada en caso de problema eléctrico.
- PC-OMI: ordenador conectado con la electrónica del telescopio y que controla sus movimientos (ejes RA y DEC, mecanismo de enfoque), la rueda de filtros y la cúpula (azimut y compuertas); controla el estado de la iluminación de la cúpula para realizar imágenes planas y las distintas funciones de la cámara CCD (refrigeración, obturador, etc.); realiza la monitorización de las variables de entorno del observatorio (lectura señal GPS y estación meteorológica Davis); realiza el seguimiento de las observaciones y el registro de las imágenes; y, por último, responde a distintas alarmas de forma programada. Todas estas funciones son realizadas por el software Talon (ver apartado 6.1.).
- PC-Control: realiza una monitorización del sistema de suministro eléctrico (grupo electrógeno) y de los datos recogidos por la estación meteorológica redundante, que son comparados con los datos de la estación Davis; controla el estado de un interruptor que permite cerrar el suministro eléctrico del telescopio y de un mecanismo redundante de cierre automático de la cúpula, ambos diseñados para situaciones de emergencia. El software que realice estas funciones y algunos de estos dispositivos se encuentran en proceso de desarrollo.
- PC-Windows: gestiona las alarmas generadas por el detector de tormentas, así como el estado de dos interruptores que permiten cortar el suministro eléctrico de las dos líneas generales de corriente que abastecen todo el observatorio, medida necesaria en situaciones de emergencia. El software que realice estas funciones se encuentra en proceso de desarrollo. Este ordenador también monitoriza el estado del SAI al que están conectados los tres PC y gestiona la alarma que se genera en caso de problema eléctrico.

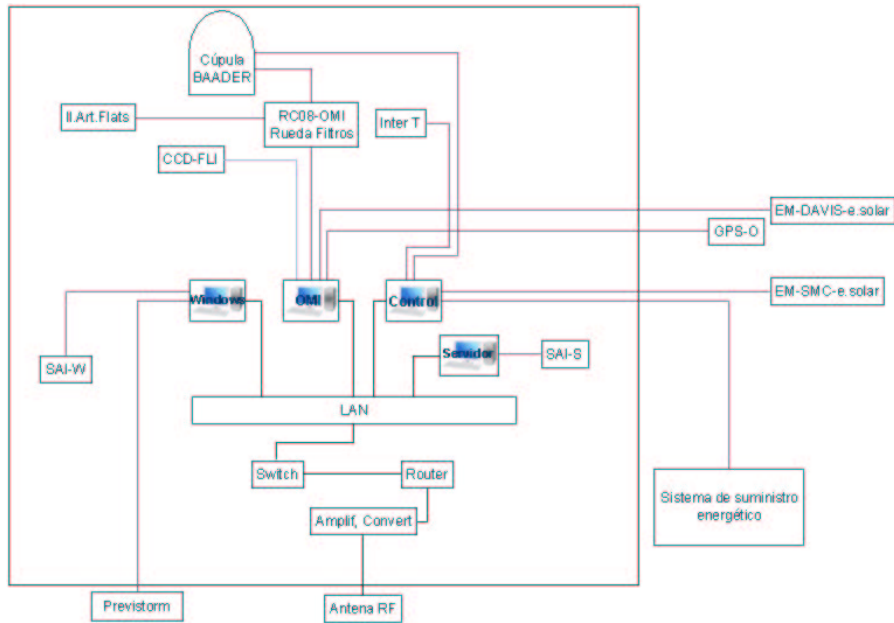


Fig.5: Esquema de conexiones y dispositivos del OAM

Finalmente, todos los ordenadores realizan una monitorización entre sí, como medida de seguridad para detectar cualquier anomalía en el funcionamiento de alguno de ellos que pudiera poner en peligro el instrumental del observatorio.

6. Software

Las funciones básicas que debe proporcionar el software de un observatorio para poder asegurar un control robótico o remoto del mismo son: control de la instrumentación dedicada al uso científico y de la de soporte; control de las observaciones astronómicas; tratamiento y gestión de los datos recogidos; comunicación con usuarios internos y externos; y gestión de alarmas y seguridad del observatorio. En el caso del OAM, se utiliza el software Talon para la gestión de la mayoría de elementos del observatorio, pero es necesario complementar este paquete con otros programas para asegurar la fiabilidad y la seguridad del sistema y para poder incorporar otros dispositivos que permitan reducir al mínimo las incidencias que puedan poner en riesgo el instrumental. Esta serie de programas se están desarrollando actualmente. A continuación presentamos las principales características del software Talon.

6.1 Talon

Software basado en OCAAS, desarrollado por Elwood Downey (Clear Sky Institute) y ampliado por Steve Ohmert (OMI) para el control automatizado de sus telescopios y la mayoría de los elementos de un observatorio astronómico [5].

Talon permite un control parcial de un observatorio en tiempo real trabajando de forma presencial, desde la sala de control, de forma remota o robóticamente, dispone de algoritmos para la programación de observaciones y de programas para el análisis de imágenes. Se trata de un paquete de programas para el entorno Linux escritos en lenguaje ANSI C, con algunos componentes en Perl y scripts csh. Utiliza varios procesos demonio de larga duración; tres controladores (*drivers*), para los elementos conectados con el sistema informático a través de las tarjetas CSIMC, para la cámara (Apogee, Finger Lakes) y para los instrumentos de soporte (GPS, estación

meteorológica y SAI); el acceso a los demonios a través de colas *fifo*; distintas interfaz gráficas con el usuario; el almacenamiento del estado de los procesos demonio en un segmento de memoria compartida; y ficheros de configuración que permiten adaptar el software al instrumental de cada observatorio (ver Fig.6). Para el control remoto del observatorio, el software puede ser gestionado desde una máquina remota que disponga del software Talon con solo enviar pequeños paquetes de órdenes y de información sobre el estado del sistema.

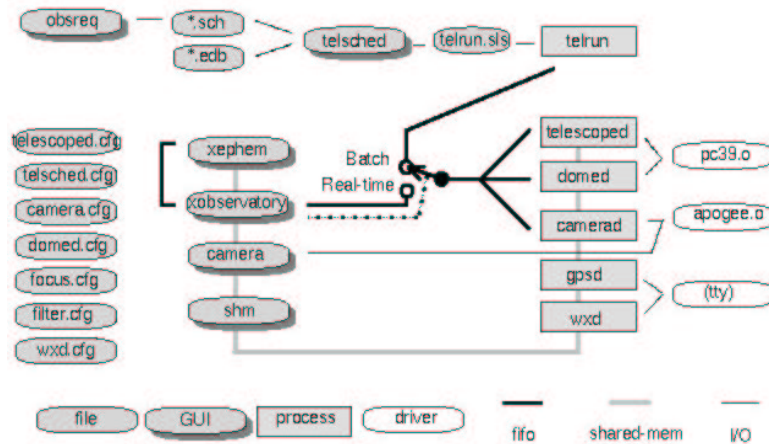


Fig.6: Diagrama de flujo de datos del software Talon.

Desde el mes de diciembre del 2003, este software es *open source*, dispone de licencia GNU *General Public License* (GPL) y es distribuido a través de la página Web www.sourceforge.net.

6.1.1 Utilidades gráficas

Una de las utilidades del software es la interfaz gráfica *XObs* (Fig.7), que permite, entre otros, un control en tiempo real del telescopio, la cúpula, la rueda de filtros, la iluminación artificial de la cúpula, la activación del modo de control robótico y la visualización del estado de la cámara, el señal GPS y los datos meteorológicos. Otra de las utilidades gráficas es el programa *Camera*, que permite el control de la cámara CCD para el proceso de recogida de imágenes, la refrigeración, distintas herramientas para el tratamiento de las imágenes, etc. Finalmente, el programa *Shm* permite visualizar el estado de todos los dispositivos conectados.

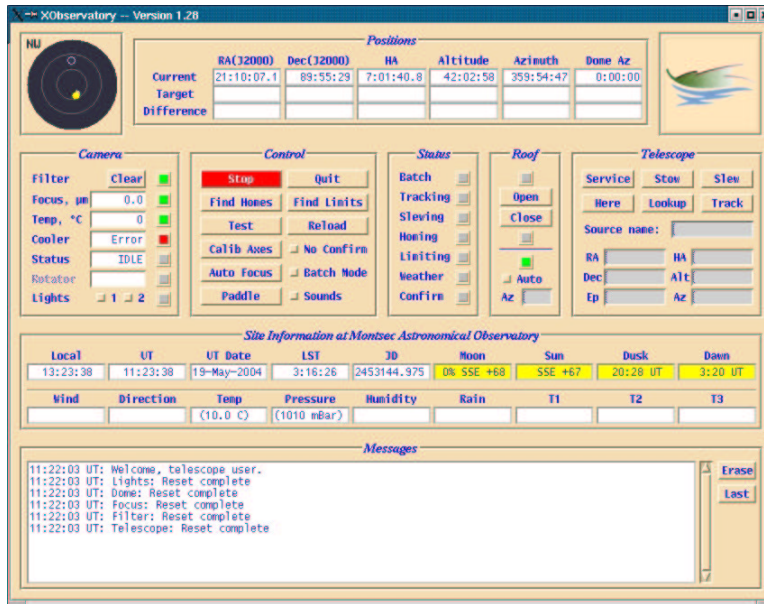


Fig.7: Interfaz gráfica XObs

6.1.2 Proceso automatizado

Talon tiene por defecto tres programas para la gestión robótica del proceso de observación de una noche entera. Estos son: interfaz gráfica *mksch*, que permite al usuario la introducción de las características de la observación que quiere realizar (objeto, tiempo de exposición, filtro, etc.); la interfaz gráfica *telsched*, para la optimización del tiempo de observación y la ordenación de las observaciones; y el proceso *telrun*, que realiza el control de la observación programada y es activado automáticamente al iniciar el ordenador o manualmente con el programa *XObs*. El resultado del proceso robótico para la realización de observaciones programadas es la obtención de las imágenes de los objetos, reducidas o no (según la configuración).

7. Elementos de seguridad

En el proceso de robotización total del OAM se han establecido una serie de elementos de seguridad con el objetivo de eliminar cualquier situación de riesgo para el instrumental. Para ello se han instalado sistemas de seguridad, sistemas redundantes de control y de medida y se han utilizado herramientas informáticas robustas, trabajando la mayoría de ordenadores en entorno Linux. En particular, se dispone de elementos para la seguridad eléctrica (SAI's, pararrayos, conexión a tierra, detector de tormentas (Previstorm), monitorización del grupo electrógeno, interruptores), la mayoría de los cuales son controlados automáticamente; se instalará un sistema redundante de parada del telescopio y de cierre de la cúpula, puntos extremadamente críticos; se ha diseñado un sistema de seguridad del sistema informático y del sistema de comunicaciones consistente en un control continuo de todos estos elementos entre sí; y, finalmente, se ha duplicado el número de sensores para la medida de las condiciones meteorológicas y se prevé instalar una segunda antena GPS, que permitirá verificar el correcto funcionamiento de la primera antena y, además, será utilizada para realizar otros estudios atmosféricos.

8. Conclusiones

La construcción del OAM se realizó con el objetivo de disponer de un observatorio con la capacidad de obtener datos útiles y de alta calidad para la realización de estudios astrofísicos y de obtenerlos a través de un control remoto o de un control robótico, con las ventajas que esto supone. Para el funcionamiento con este tipo de control es necesario el uso de la telemática, de dispositivos preparados para ser controlados automáticamente y de un control del entorno, sistemas todos ellos que deben funcionar con una alta fiabilidad. La complejidad de este conjunto de elementos ha comportado un largo proceso de diseño y definición para el OAM, que ha dado lugar al sistema descrito en este documento, el cual está siendo implementado y que será testado en los próximos meses. Este se compone de instrumental astronómico y de soporte capaz de funcionar automáticamente, gestionado por el software Talon y distintos programas complementarios instalados en varios ordenadores. Entre el instrumental de soporte se encuentran varios elementos destinados especialmente a garantizar la seguridad del observatorio.

Referencias

- [1] Boyd, L.J., Genet, R.M., Hall, D. 1986, “*Automatic telescopes large and small*”, PASP, v.98, p.618
- [2] Drummond, M. et al. 1995, “*Flexible Scheduling of Automatic Telescopes over the Internet*”, en “*Robotic Telescopes*”, ASP Conference Series, v.79, p.101, Henry, G.W., Eaton, J.A. (eds.)
- [3] Fernández, D., Isern, J., Palau, X., Torra, J. 2004, “*El Observatori Astronòmic del Montsec: el telescopio robótico de la Sierra del Montsec*”, este volumen
- [4] Requena, R. 2004, “*Diseño del interfaz de comunicaciones del software de control del Grupo Electrónico del Observatorio Astronómico del Montsec*”, proyecto de fin de carrera, Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones (ETS de Castelldefels-Universitat Politècnica de Catalunya), García-Berro, E. y Colomé, J. (directores)
- [5] Steidler-Dennison, T. 2004, “*Linux, Talon and Astronomy*”, Linux Journal, n.117, p.69