



Caracterización y Automatización Mecánica de los Telescopios Cherenkov de CASLEO

N. Leal¹, D. Yelós¹, A. Mancilla¹, J. Maya¹, L. Feres¹, F. Lazarte¹, B. García^{1,2}

¹ Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas, CNEA-CONICET-UNSAM, Argentina

² Facultad Regional Mendoza, UTN, Argentina

Contacto / nicolas.leal@iteda.cnea.gov.ar

Resumen / Se propone el reemplazo del sistema de motorización, ya obsoleto, de los telescopios Cherenkov del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO). Se diseñó una cadena cinemática que trabaja con velocidad rápida para movimientos de posicionado y parking, y velocidad lenta para el movimiento de *tracking*. Como parámetro de diseño se utiliza la velocidad de viento promedio en El Leoncito. En este trabajo se presentan resultados preliminares que demuestran que los componentes seleccionados para la automatización del telescopio son capaces de cumplir con la velocidad rápida de giro.

Abstract / A new automation system for the Cherenkov Telescopes at CASLEO is designed. Two rotation speeds are proposed: a fast speed for positioning and parking and a slow speed for tracking. The wind speed at El Leoncito site is used as a design parameter. In this work we present the first tests with the new setup which shows a correct performance at fast speeds.

Keywords / telescopes — astroparticle physics — instrumentation: detectors

1. Introducción

El Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO) cuenta con tres telescopios Cherenkov, construidos a partir de la remodelación de antiguos reflectores de arco, utilizados con otros propósitos hace unos 70 años. Cada telescopio tiene un espejo de 1.5 m de diámetro y campo de visión de 2.7° , que corresponde a un ángulo sólido de $1.75 \cdot 10^{-3}$ sr. Estos telescopios se encuentran fuera de uso desde la década del 90 del siglo XX.

Para reacondicionar este sistema es necesario un trabajo específico en los aspectos ópticos (limpieza del espejo y caracterización óptica) y, por otro lado, surge la necesidad de diseñar un sistema mecánico que sea capaz de hacer un seguimiento preciso de cualquier punto en el cielo, que pueda aparcar automáticamente si las condiciones climáticas son desfavorables y que permita el acceso remoto. Este sistema, aplicado a los tres telescopios del CASLEO, brindaría la posibilidad no sólo de reactivar el recurso, sino también de realizar adquisiciones sincronizadas, algo que resulta imposible mediante el movimiento manual de los mismos. Por otro lado, los procedimientos y métodos que se desarrollan aquí podrían ser de aplicación a otros sistemas de instrumentos astronómicos de características similares.

2. Caracterización de los telescopios

Con el fin de realizar los trabajos de limpieza y determinación del punto focal del espejo uno de los telescopios, cuyo sitio de emplazamiento y posición relativa puede verse en la Fig. 1, se trasladó e instaló en el predio de la CNEA Cuyo, en Mendoza.

2.1. Limpieza del espejo primario

Para la limpieza del primario del telescopio se utilizó una solución de ácido fosfórico al 10 %, siguiendo la recomendación para el tratamiento del espejo de Rhodio (Rovero, 2014). Antes y después de esta tarea, se midió el incremento relativo de la reflectividad con un foto-transistor y un láser rojo (650 nm); se obtuvo una mejora del 4.2 %.

2.2. Sistema 2f-test

Para medir las propiedades ópticas del espejo se desarrolló un test 2f portable (Fig. 2). Los parámetros medidos fueron:

- Posición del foco: 0.64 m
- Centro de curvatura: 1.24 m
- Diámetro del punto focal: 3 cm

La medición del punto se logró trasladando un láser a lo largo del diámetro del espejo y marcando sobre un papel cuadriculado, ubicado en el foco, la posición en que el haz se reflejaba. A partir de los puntos extremos encontrados se determinó el diámetro mínimo del concentrador óptico (cono de Winston) que acompañe al fotodetector (Yelós et al., 2017), necesario para captar la mayoría de fotones incidentes.

3. Condiciones de operación: Clima

Tanto las velocidades de viento como las temperaturas de la región de El Leoncito fueron analizadas con motivo de los estudios asociados con el proyecto Cherenkov Telescope Array-CTA (de La Vega et al., 2013) por un



Figura 1: Posición relativa de los telescopios en CASLEO y tarea de desmantelamiento para transporte de uno de ellos a Mendoza.



Figura 2: Determinación del punto focal.

período de más de un año (Mar-2011/Oct-2012); ambas variables climáticas resultan fundamentales para el diseño de un sistema mecánico de precisión.

La velocidad del viento y de las ráfagas se muestran en la Fig. 3. Los valores promedio obtenidos (15 km h^{-1} y $<60 \text{ km h}^{-1}$, respectivamente), resultan dentro de los requerimientos para sitios de interés astrofísico.

Las temperaturas observadas en El Leoncito se presentan en la Fig. 4; se aprecia que las mismas varían en un rango de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta $32 \text{ }^\circ\text{C}$.

4. Propuesta para automatización: velocidad de giro y momento de inercia de masa

Teniendo en cuenta la necesidad de posicionar el telescopio de manera rápida para el seguimiento de algunos fenómenos asociados con radiación gamma (tal el caso de las alertas de *gamma-ray bursts*), se consideró suficiente proponer como requerimiento cubrir 180° en 30 s (Bretz et al., 2003). A partir de dicho requerimiento, se fijó en 1 rpm la velocidad angular rápida wr . En el caso de la velocidad de *tracking* wl , el telescopio debe compensar el giro terrestre, por lo que la velocidad angular

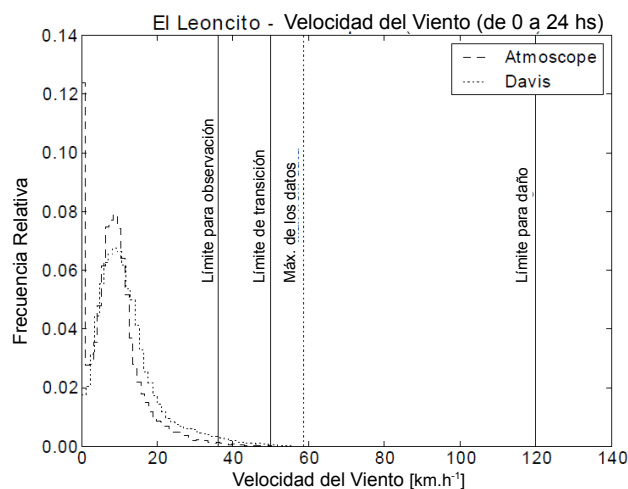


Figura 3: Velocidades de viento en El Leoncito.

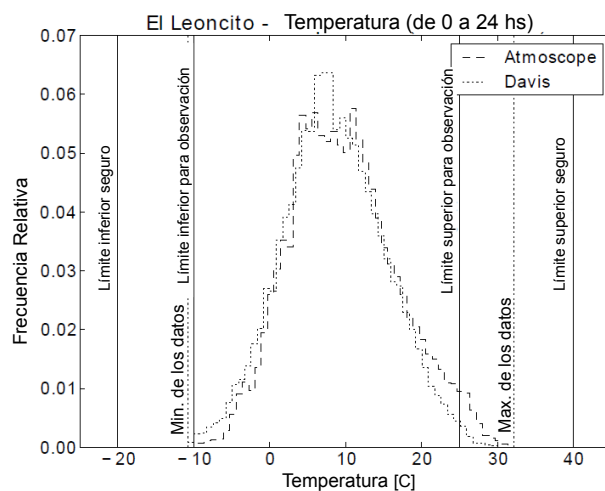


Figura 4: Histograma de temperaturas de El Leoncito.

es $1/1440 \text{ rpm}$.

$$wr = \frac{180 \text{ deg}}{30 \text{ s}} = 1 \text{ rpm} \quad (1)$$

$$wl = \frac{360 \text{ deg}}{24 \text{ hs}} = \frac{1}{1440} \text{ rpm} \quad (2)$$

Para la determinación de los momentos de inercia, se utilizaron las dimensiones de las piezas principales del telescopio (tambor, espejo, horquilla), que se transformaron a geometrías simples.

4.1. Pares a vencer: aceleración de la masa rotante y momento generado por el viento

A partir de los valores para los momentos de inercia de masa del telescopio en los dos ejes de giro (Tabla 1, se calculó el par necesario para acelerar dicha masa hasta la velocidad wr en un tiempo de 2 s.

$$\text{Par.} \text{acel}_{\text{elevacion}} = \frac{J_{y_{\text{rot}}} \cdot \omega r}{\Delta t} = 6.26 \text{ N.m} \quad (3)$$

Tabla 1: Momentos de inercia.

| Pieza | Jy kg.m ² | Jz kg.m ² |
|-----------|-------------------------|--------------------------|
| Tambor | 42.16 | 42.16 |
| Espejo | 11.73 | 11.73 |
| Horquilla | 66.67 | (No gira sobre el eje z) |
| Total | 120.56 | 53.89 |

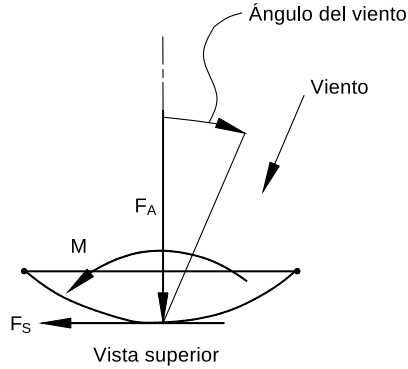


Figura 5: Convención de signos para el cálculo de esfuerzos generados por vientos en antenas parabólicas (The Telecomm. Ind. Assoc., 2003).

| MR20A-024060 | | | | |
|--------------------------------|----------|----------------|----------|---------------|
| Potencia [HP] | | 0,0675 | | |
| Tensión nominal [V] | | 24Vcc | | |
| Io. Inom.Is[A] | | 1,0 . 2,5 . 19 | | |
| Ruido Máx [DB] | | 90 | | |
| RPM Nom. RPM Vacío (motor) | | 2000 . 2500 | | |
| Peso. Adicional por etapa [Kg] | | 2,80 . 0,25 | | |
| Largo[LT]. Adicional por etapa | | 263,5 . 13 | | |
| Etapas | Relación | Engranajes | Vel[RPM] | Cupla[Kgf.cm] |
| 3 | 64:1 | 444 | 31 | 169,7 |
| | 144:1 | 664 | 14 | 381,8 |

Figura 6: Motorreductores IGNIS seleccionados para movimientos de elevación y movimiento de acimut.

$$Par.acel_{acimut} = \frac{J_{z_{rot}} \cdot \omega r}{\Delta t} = 2.82 \text{ N.m} \quad (4)$$

Para el cálculo del momento generado por el viento se tomó como base la norma TIA/EIA-222-F (The Telecomm. Ind. Assoc., 1996).

Aplicando los criterios expresados por la norma (Fig. 5), según las dimensiones del telescopio y las condiciones climáticas de la zona, se obtienen las magnitudes de $F_A = 290.96 \text{ kgf}$, $F_S = 42.75 \text{ kgf}$ y $M_A = 250 \text{ N.m}$.

5. Motorización adoptada

Para lograr un posicionamiento preciso, se decidió implementar un sistema formado por motores CC y reductoras con sistema planetario (Fig. 6), asociadas a parte de la caja reductora original del telescopio, ya que varios elementos de esa caja fueron removidos por su deterioro (Fig. 7). Este sistema puede ser comandado por un lazo PID, realimentado por *encoders* absolutos (Fig. 8).

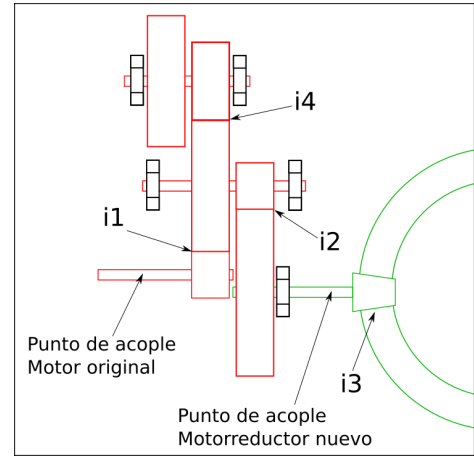


Figura 7: Caja reductora del telescopio. Se muestran las cuatro reducciones originales (i1, i2, i3 e i4). En rojo se indican los engranajes removidos por su mal estado, dejando para la nueva automatización los indicados en verde

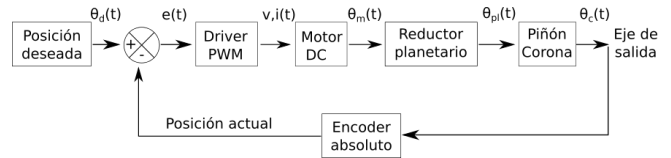


Figura 8: Diagrama de bloques - Lazo de control PID

6. Resultados preliminares y Conclusiones

Se instaló el motorreductor calculado para el movimiento acimutal mediante el uso de soportes y acoples diseñados para tal fin. Las pruebas realizadas demostraron un correcto funcionamiento en el modo de giro rápido, logrando la velocidad deseada y venciendo el torque antagónico de diseño.

Se realizó el cálculo de la cadena cinemática que proporciona el torque necesario para el giro alt-acimutal, la cual quedó conformada por nuevos motorreductores planetarios, vinculados a juegos de engranajes ya existentes en el telescopio original. Con los componentes seleccionados, se verificó que el nuevo sistema de automatización será capaz de proporcionar el torque necesario para vencer los vientos típicos de El Leoncito. Queda como trabajo a realizar el diseño del *driver* PWM de los motores, y el software de control de los mismos.

Referencias

Bretz D., et al., 2003, Proceedings of the 28th International Cosmic Ray Conference
 de La Vega G., et al., 2013, Characterization of sites for CTA: Weather studies in Argentina. Technical Note
 Rovero A., 2014, Comunicación privada
 The Telecomm. Ind. Assoc. 1996, TIA/EIA-222-F
 Yelós D., Suarez F., García B., 2017, BAAA, 59, en prensa