



# Características básicas del REOSC-DS + CCD Tek1024 en el telescopio JS y extinción atmosférica en CASLEO

G. Baume<sup>1,2</sup>, C. Coronel<sup>1</sup>, B. De Bórtoli<sup>1</sup>, A. Ennis<sup>1</sup>, E. Fernández Lajús<sup>1,2</sup>, A. Filócomo<sup>1</sup>, R. Gamén<sup>1,2</sup>, R. Higa<sup>1</sup>, P. Pessi<sup>1</sup>, C. Putkuri<sup>1,2</sup>, C. Rodríguez<sup>1</sup>, A. Unamuno<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata, UNLP, Argentina

<sup>2</sup> Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

Contacto / gbaume@fcaglp.unlp.edu.ar

**Resumen** / En el marco de las actividades de la cátedra “Astronomía Observacional” de la FCAG (UNLP), se han realizado diversas observaciones fotométricas y espectroscópicas utilizando el telescopio Jorge Sahade del Complejo Astronómico El Leoncito. Estos datos han permitido estimar los valores de los coeficientes de extinción en las bandas *UBVRI*. Ellos fueron comparados con valores previos, verificándose un aumento secular de los mismos en los últimos años. Adicionalmente, se determinaron algunos parámetros y características del espectrógrafo REOSC en el modo dispersión simple (DS) y del detector CCD Tek1024 instalado en dicho instrumento.

**Abstract** / In the framework of the activities of the subject “Astronomía Observacional” of FCAG (UNLP), several photometric and spectroscopic observations have been made using the Jorge Sahade telescope at the Complejo Astronómico El Leoncito. These data have allowed the estimation of the extinction coefficients in *UBVRI* bands. They were compared with previous values, verifying a secular increase in the last years. In addition, some parameters and characteristics of the REOSC spectrograph working at simple dispersion (DS) mode and for its CCD detector Tek1024 were estimated.

**Keywords** / Atmospheric effects — Instrumentation: detectors — Instrumentation: spectrographs

## 1. Introducción

La caracterización de las condiciones atmosféricas de un observatorio astronómico y de su instrumental a lo largo del tiempo es fundamental para evaluar tanto sus limitaciones como la correcta interpretación de los datos obtenidos. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del análisis de observaciones astronómicas y pruebas realizadas con el telescopio Jorge Sahade del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO). Ellas se efectuaron en el marco de las actividades de la cátedra “Astronomía Observacional” de la FCAG (UNLP) durante el viaje de campaña 2015. El procesamiento y análisis de las imágenes se llevó a cabo utilizando diversos paquetes y tareas de IRAF.

## 2. Observaciones

Las observaciones se llevaron a cabo en el CASLEO durante las noches del 27/11/2015 al 03/12/2015, en las que se realizaron:

- Observaciones espectroscópicas, efectuadas con el espectrógrafo REOSC en el modo DS y montado en el foco Cassegrain. Se utilizó la red de difracción #260 (600  $l/mm$ ) con un ángulo de posición de  $8.30^\circ$ . El detector de este instrumento es un CCD Tek1024 de  $1024 \times 1024$ , y se lo utilizó con ganancia 4, discretización (*binning*)  $1 \times 1$ , aunque en algunos experimentos particulares se utilizó un factor de discretización diferente.
- Observaciones fotométricas, efectuadas con la cámara Roper Scientific VersArray 2048B localizada en el foco

Cassegrain acodado y los filtros *UBVRI*. El detector de esta cámara es un CCD e2v CCD42-40 de  $2048 \times 2048$ , y se lo utilizó en el modo de ganancia 2, frecuencia de lectura = 100 kHz, discretización:  $5 \times 5$  (escala =  $0.75''/pix$ )

## 3. Espectrógrafo REOSC DS + CCD Tek1024

### 3.1. Efectos de la ranura del espectrógrafo

Para establecer una relación entre el ancho de la ranura y el ancho (FWHM) de una línea espectral, se obtuvieron imágenes de lámparas de calibración (Th-Ar) utilizando diferentes anchos de ranura cubriendo el rango de 50 a 500  $\mu m$ . Se realizó la extracción de los espectros de lámpara y se los calibró en longitud de onda. Posteriormente, se midió el FWHM de algunas líneas (Ar II  $\lambda 4200$ ; Ar II  $\lambda 4765$ ; Th I  $\lambda 6038$ ), ajustándoles un perfil gaussiano. En la Fig. 1 se presenta el comportamiento del FWHM en función del ancho de la ranura. Se nota un quiebre para una apertura algo menor a 200  $\mu m$ . Este valor es el que corresponde a aproximadamente 2 pixeles sobre el detector y se produce por efectos de submuestreo.

### 3.2. Linealidad del detector

El grado de linealidad de un detector se puede evaluar planteando la ecuación  $S = at^\gamma + b$ , que vincula la señal ( $S$ ) con el tiempo de exposición ( $t$ ). En dicha fórmula,  $b$  sería un valor representativo del nivel del campo de

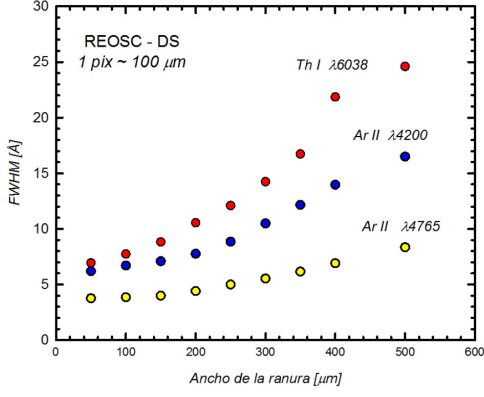


Figura 1: Comportamiento del FWHM de algunas líneas de la lámpara de calibración con el ancho de la ranura. Los colores de los símbolos indican líneas diferentes.

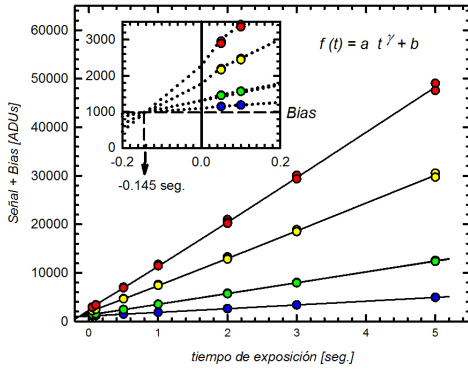


Figura 2: Variación de la cantidad de cuentas medias en cuatro regiones de distintos campos planos obtenidos con diferentes tiempos de exposición.

sesgo, mientras que el grado de linealidad viene dado por el apartamiento de la unidad por parte del factor  $\gamma$ .

Se utilizaron varios campos planos de lámpara adquiridos con diferentes tiempos de exposición (de 0.05 s a 5.0 s). Debido a que, a lo largo de un campo plano espectroscópico, la intensidad es altamente variable, se seleccionaron cuatro regiones pequeñas ( $100 \times 10$  pix) sobre cada uno de ellos en las que se determinaron los valores medios de las cuentas (*mean*) como representativos de  $S$  (incluyendo el nivel del campo de sesgo). Luego, se realizó un ajuste por mínimos cuadrados de los parámetros  $a$ ,  $b$  y  $\gamma$  en cada región (ver Fig. 2). Los parámetros obtenidos revelan que: a) el factor  $\gamma$  se halla cerca de la unidad dentro del 1% ( $\gamma = 1.025 \pm 0.004$ ); b) los valores de los residuos de los ajustes están acotados dentro del 3%; y c) se encuentra una dependencia del valor de la ordenada al origen ( $b$ ) con la posición de la región escogida (ver recuadro menor en la Fig. 2). Este último punto es un indicio de que los tiempos de exposición indicados en los headers de las imágenes se hallan subestimados en 0.145 s.

### 3.3. Ganancia y ruido de lectura

La relación entre la señal ( $S$ ) y el ruido total ( $\sigma_S$ ), debido a Poisson y al detector, viene dada por la ecuación

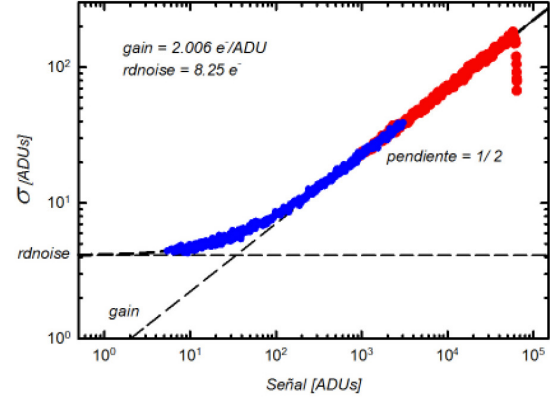


Figura 3: Ruido vs. Señal para el CCD Tek1024. Los colores indican los resultados obtenidos a partir del estudio sobre campos planos espectroscópicos (discretización  $1 \times 1$ ) con tiempos de exposición de 0.1 s (símbolos azules) y de 6 s (símbolos rojos).

$\sigma_S = (S/g + (rd/g)^2)^{1/2}$  (Kinoshita et al., 2005), donde  $g$  es la ganancia del detector expresada en  $e^-/ADUs$  y  $rd$  es el ruido de lectura del detector expresado en  $ADUs$ .

Los valores de  $S$  y  $\sigma_S$  fueron obtenidos a partir de la aplicación de las ecuaciones indicadas en Baume et al. (2012) sobre un conjunto de pares de campos de sesgo y de campos planos de lámpara utilizando un factor de discretización  $1 \times 1$ . Se utilizaron campos planos con tiempos de exposición de 0.1 s y de 6.0 s. Ellos se analizaron con una sucesión de pequeñas regiones ( $10 \times 10$  pix) sobre toda la zona iluminada.

Los valores obtenidos se presentan en la Fig. 3 y, realizando un ajuste por mínimos cuadrados de la fórmula de  $\sigma_S$ , se obtuvieron los parámetros  $g = 2.006 \pm 0.005 e^-/ADU$  y  $rd = 8.25 \pm 0.19 e^-$ . Los valores obtenidos son consistentes con los valores dados por el fabricante ( $g = 1.98 e^-/ADUs$  y  $rd = 7.4 e^-$ ; ver [www.casleo.gov.ar](http://www.casleo.gov.ar)). Adicionalmente se obtuvieron los siguientes valores estadísticos (*mean* y *stdev*) para el *overscan* ( $OS$ ):  $\mu_{os} = 996.39 \pm 0.12 ADUs$  y  $\sigma_{os} = 4.59 \pm 0.03 ADUs$ .

### 3.4. Parámetros y el factor de discretización

Se evaluó el comportamiento de varios parámetros del detector con el factor de discretización. Para ello se utilizaron pares de campos de sesgo adquiridos en forma sucesiva con factores en una dirección (de  $1 \times 1$  a  $1 \times 30$  y de  $1 \times 1$  a  $30 \times 1$ ) y en dos direcciones (de  $1 \times 1$  a  $30 \times 30$ ).

Se calculó: a) el nivel de los campos de sesgo individuales como sus valores medios (*mean*); b) el ruido del detector (*rdnoise*), a partir de la dispersión de la diferencia de dos campos de sesgo; y c) los tiempos de lectura ( $t_{read}$ ), a partir de la diferencia en los instantes de almacenamiento de dos campos de sesgo sucesivos.

Los resultados se presentan en la Fig. 4, donde se destaca una dependencia importante del nivel del campo de sesgo y del *rdnoise* con el factor de discretización.

Tabla 1: Parámetros atmosféricos de las ecuaciones de transformación para la noche del 27/11/2015.

$i$	$u_i$	$b_i$	$v_i$	$r_i$	$i_i$
1	$3.63 \pm 0.04$	$1.90 \pm 0.04$	$1.38 \pm 0.02$	$1.55 \pm 0.07$	$1.95 \pm 0.12$
2	$0.54 \pm 0.03$	$0.33 \pm 0.03$	$0.20 \pm 0.02$	$0.19 \pm 0.06$	$0.17 \pm 0.10$
3	$-0.16 \pm 0.04$	$0.17 \pm 0.05$	$0.02 \pm 0.03$	$0.09 \pm 0.13$	$0.05 \pm 0.11$
4	$0.05 \pm 0.03$	$-0.08 \pm 0.04$	$-0.04 \pm 0.02$	$-0.11 \pm 0.11$	$-0.06 \pm 0.09$

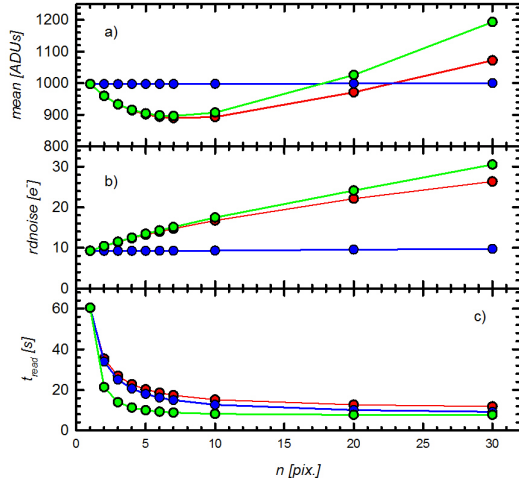


Figura 4: Comportamiento de distintos parámetros del CCD Tek1024 en función del factor de discretización para casos rectangulares ( $1 \times n =$  curvas rojas;  $n \times 1 =$  curvas azules) y cuadrados ( $n \times n =$  curvas verdes).

Se nota además, que esta dependencia es mucho más acentuada en una de las direcciones del detector.

### 3.5. Corriente de oscuridad

La corriente de oscuridad ( $dc$ ) del detector se determinó a partir del promedio de tres campos corriente de oscuridad de 1800 s de integración cada uno y un factor de discretización  $10 \times 10$ . Se utilizó la expresión indicada en Baume et al. (2012) que provee el valor de la  $dc$  por cada pixel físico del detector, adoptando a la moda como mejor estimador del nivel de la zona central de cada imagen. La  $dc$  medida es razonablemente baja ( $1.0 \pm 0.2 e^{-h^{-1} pix^{-1}}$ ), aunque más elevada que la especificada por el fabricante ( $dc \approx 0.4 e^{-h^{-1} pix^{-1}}$ ).

## 4. Parámetros Atmosféricos

La noche del 27 de Noviembre de 2015 se adquirieron imágenes de tres campos de estrellas estándar (TPhe, Ru 152 y PG 0231+051; Landolt 1992), con la cámara directa. Los campos elegidos proveen unas 16 estrellas estándar con un rango amplio de colores y ellos fueron observados a diferentes masas de aire ( $X = 1.04 - 1.79$ ).

Se utilizaron transformaciones de la forma  $m_{inst} = m_{std} + c_1 + c_2 X + c_3 IC + c_4 IC X$ , donde  $m_{inst}$  y  $m_{std}$  son, respectivamente, las magnitudes instrumentales y las magnitudes en el sistema estándar en cada banda ( $UBVRI$ ), mientras que  $IC$  es un índice de color ( $U - B$ ,  $B - V$ ,  $V - R$  y  $V - I$ ). Estas ecuaciones permiten

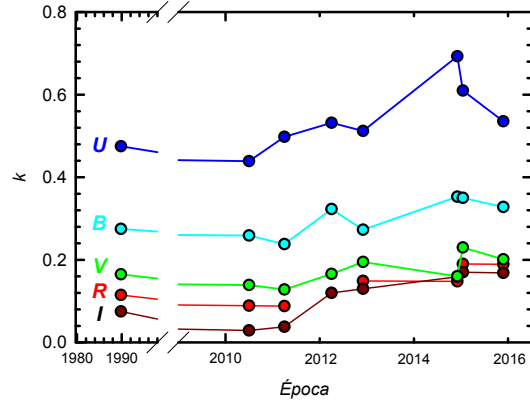


Figura 5: Comportamiento de los coeficientes de extinción ( $k$ ) de CASLEO para las bandas  $UBVRI$  a lo largo del tiempo. (Nota:  $k_U = u_2$ ;  $k_B = b_2$ ;  $k_V = v_2$ ;  $k_R = r_2$ ;  $k_I = i_2$ ).

establecer los parámetros atmosféricos  $c_i$  en cada banda ( $u_i, b_i, v_i, r_i, i_i$ ). Se nota que para  $i = 2$  se obtienen los coeficientes de extinción de primer orden ( $k$ ).

Las magnitudes instrumentales fueron obtenidas llevando a cabo fotometría de apertura ( $r_{ap} = 15''$ ) sobre las estrellas estándar utilizando la tarea PHOT/DAOPHOT, mientras que los parámetros atmosféricos se calcularon utilizando el paquete PHOTCAL. Los parámetros obtenidos se presentan en la Tabla 1. Se compararon los resultados obtenidos con los valores publicados en trabajos previos (Fernández-Lajús et al. 2016; [www.casleo.gov.ar](http://www.casleo.gov.ar) y <http://fcaglp.unlp.edu.ar/~observacional/>). Ellos se presentan en la Fig. 5, verificando el aumento secular de los coeficientes de extinción entre 2010 y 2015.

*Agradecimientos:* Los autores agradecen a las autoridades y personal del CASLEO por haber permitido el uso de las instalaciones del observatorio a la cátedra Astronomía Observacional de la FCAG (UNLP) y por la hospitalidad brindada durante el turno. Agradecemos también a las autoridades de la FCAG por la financiación del viaje de campaña 2015 que incluyó el turno de observación y por permitir el uso de las facilidades computacionales de la institución

## Referencias

- Baume G. L., et al., 2012, BAAA, 55, 519  
 Fernández-Lajús E., et al., 2016, BAAA, 58, 190  
 Kinoshita D., et al., 2005, ChJAA, 5, 315  
 Landolt A. U., 1992, AJ, 104, 340