



Medición de coeficientes de extinción en CASLEO y características del CCD ROPER-2048B del telescopio JS

E. Fernández-Lajús^{1,2}, R. Gamen^{1,2}, M. Sánchez¹, M.C. Scalia¹ & G. Baume^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

² Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

Contacto / eflajus@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen / A partir de observaciones realizadas con el telescopio “Jorge Sahade” del Complejo Astronómico El Leoncito, se midieron los coeficientes de extinción en las bandas *UBVRI* y se determinaron algunos parámetros y características de la cámara CCD de imagen directa ROPER 2048B.

Abstract / From observations made with the “Jorge Sahade” telescope of the Complejo Astronómico El Leoncito, the *UBVRI*-band extinction coefficients were measured, and some parameters and characteristics of the direct-image CCD camera ROPER 2048B were determined.

Keywords / atmospheric effects — instrumentation: detectors

1. Introducción

Durante el viaje de campaña del año 2014 de la cátedra de Astronomía Observacional* de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAG, UNLP), se realizaron diversas observaciones astronómicas y pruebas del instrumental instalado en el telescopio de 2.15 m “Jorge Sahade” del Complejo Astronómico El Leoncito, especialmente con el CCD Roper 2048B empleado en modo directo desde el semestre 2012B.

2. Observaciones

Las observaciones se realizaron durante las noches del 9 al 11 de diciembre de 2014. Se utilizaron los filtros del sistema *UBVRI* y la cámara CCD *Roper Scientific VersaArray* 2048B, con un detector CCD e2v CCD42-40 de 2048×2048 píxeles ($13.5 \mu\text{m pix}^{-1}$), montada en el foco Cassegrain acodado. Se empleó la opción de ganancia 2 (media) con frecuencia de lectura 100 kHz y promediado de píxeles de 5×5. Para procesar las imágenes de ciencia se adquirieron imágenes de tipo sesgo (“*bias*”), que permiten medir la carga base del CCD e imágenes de campos planos (*flats*), campos planos de cúpula (*dome-flats*) y campos planos de crepúsculo. La reducción de las imágenes de ciencia se llevó a cabo en forma estándar utilizando el paquete CCDRED/IRAF. La aritmética entre imágenes y la extracción de valores estadísticos fueron realizadas con el paquete IMUTIL/IRAF.

Para los distintos tests de la cámara CCD se obtuvieron pares de campos planos de cúpula, con diferentes tiempos de exposición (t_{exp}). Para cubrir el rango dinámico del detector con un rango más amplio de t_{exp} se utilizó el filtro *B*. Así, los pares de imágenes se expusieron con t_{exp} entre 0.001 y 120 s. Se adquirieron

además tres imágenes de oscuridad para medir la corriente de oscuridad, mientras que para el cálculo de ruido de lectura se tomaron imágenes de sesgo con diversos factores de agrupación de píxeles.

3. Efectos del obturador

Para determinar un valor que caracterice el t_{exp} para el cual el obturador no altere significativamente las intensidades registradas a lo largo del chip del CCD, se analizó el comportamiento de los cocientes de las intensidades entre 5 regiones periféricas (R1...R5), oscurecidas por el obturador y la región central C de máxima iluminación (ver Fig. 1). Para esto se utilizó el conjunto de campos planos de cúpula y se los procesó de forma tradicional. Como campo plano de calibración se utilizó el de mayor t_{exp} (120 s).

Se calculó la mediana de la intensidad en cada región para cada imagen y se graficaron los cocientes respecto a C en función de t_{exp} .

De la Fig. 2 se desprende que para $t_{\text{exp}} = 0.4\text{s}$ la intensidad en las zonas oscurecidas es superior al 98% de la central, es decir menos de $\sim 0.02\text{mag}$. Hacia mayores t_{exp} la atenuación por viñeteo del obturador tiende a ser despreciable. Para $t_{\text{exp}} < 5\text{ms}$ el obturador no responde proporcionalmente.

4. Tiempo muerto entre exposiciones

A partir de las secuencias de imágenes de sesgos adquiridos en los diferentes factores de promediado (variable “*binning*”), se midieron los tiempos medios entre exposiciones, es decir los tiempos característicos de “transferencia + lectura + grabado” de cada imagen, resultando 45.0 s para promediado de 1×1, 4.0 s para 5×5 y 2.4 s para 10×10.

*<http://fcaglp.unlp.edu.ar/~observacional/>

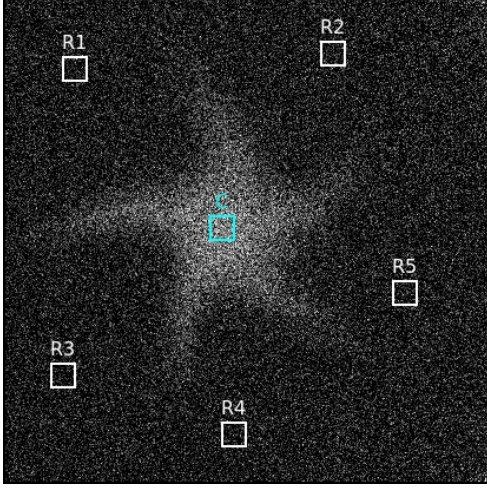


Figura 1: Imagen de 5 ms de exposición mostrando el patrón del obturador obstruyendo parcialmente.

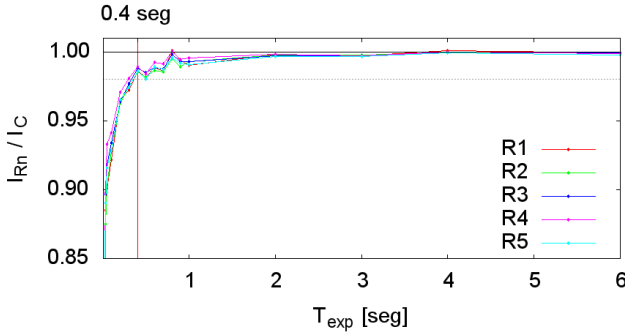


Figura 2: Cociente de intensidades entre las distintas regiones R_n respecto de C en función del tiempo de exposición.

5. Test de linealidad

En un detector de comportamiento lineal se cumple:

$$S = a \times t_{\text{exp}}^\gamma + b \quad (1)$$

donde S representa el valor de la señal, a es la constante de proporcionalidad, b es un valor representativo del sesgo y el exponente γ debería ser del orden de 1. Entonces, para estudiar la linealidad del CCD se analizan imágenes con valores de señal que abarquen todo su rango dinámico. En este caso se utilizaron los campos planos de cúpula ad hoc. Se obtuvo el promedio de las modas de los dos campos planos de igual t_{exp} , como valores representativos de S . Luego se realizó un ajuste por mínimos cuadrados (Fig. 3) de los parámetros de la Ec. (1) obteniendo $a = 489.5 \pm 6.5$, $b = 296.5 \pm 2.6$ y $\gamma = 1.012 \pm 0.003$.

Los valores de los residuos están acotados dentro del 2% de no linealidad (ver Fig. 3) indicado por el fabricante (www.roperscientific.de/versarray.html).

6. Ganancia y ruido de lectura

La relación entre la señal S y el ruido total σ_S , (ruido “poissoniano” de S más ruido de lectura del CCD “ rd -

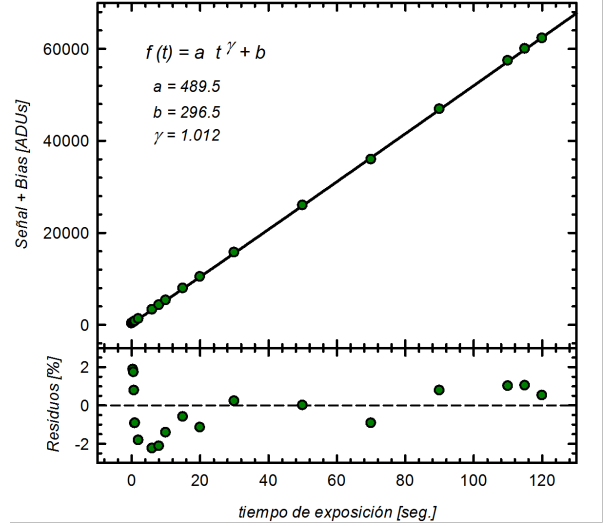


Figura 3: Ajuste del test de linealidad.

noise”), viene dada (por ej.) por Kinoshita et al. (2005):

$$\sigma_S = \sqrt{(S/\text{gain}) + (\text{rdnoise}/\text{gain})^2} \quad (2)$$

donde “ gain ” es la ganancia. A partir de los pares de campos planos de cúpula (FLAT_1 , FLAT_2) de cada t_{exp} y de un par de imágenes de sesgos (BIAS_1 , BIAS_2), se hacen operaciones aritméticas y estadística de imágenes y así estimamos S y σ_S :

$$S = [(\overline{\text{FLAT}_1} + \overline{\text{FLAT}_2}) - (\overline{\text{BIAS}_1} + \overline{\text{BIAS}_2})] / 2, \quad (3)$$

$$\sigma_S = [\sigma_{(\text{FLAT}_1 - \text{FLAT}_2)}] / \sqrt{2}. \quad (4)$$

Ajustando estos valores por mínimos cuadrados a la Ec. (2) se obtiene para promedios de 5×5 (ver Fig. 4):

$$\begin{aligned} \text{gain} &= 2.062 \pm 0.011 \text{ e}^- \text{ADU}^{-1} \\ \text{rdnoise} &= 4.574 \pm 0.924 \text{ e}^- \end{aligned} \quad (5)$$

Estos valores son consistentes con los indicados por el fabricante: $\text{gain} = 2 \text{ e}^- \text{ADU}^{-1}$ y $3.5 \text{ e}^- < \text{rdnoise} < 5 \text{ e}^-$.

Sabiendo que $\text{rdnoise}[\text{e}^-] = \text{gain} \times \sigma_{(\text{BIAS}_1 - \text{BIAS}_2)} / \sqrt{2}$, se calculó el rdnoise con pares de imágenes de sesgo adquiridos con promedios entre 1×1 y 300×300 . Esto reveló una dependencia del valor medido del rdnoise con el factor de promediado, como muestra la Fig. 5. La ecuación

$$\text{rdnoise}_{\text{bin}}[\text{e}^-] = \sqrt{\text{rd}_0^2 + \text{binning}^2 \times C_e} \quad (6)$$

explicaría este comportamiento considerando que rd_0 sería una componente de ruido de lectura intrínseco debido al amplificador y $\sqrt{C_e}$ sería un valor aditivo por cada píxel físico contenido en el píxel promediado debido a la carga espuria C_e (Janesick, 2001). www.roperscientific.de/spcharge.html. C_e es una

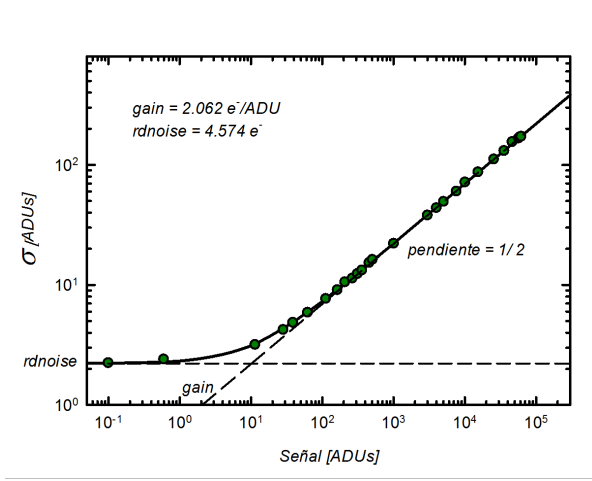


Figura 4: Ajuste para el cálculo de ruido de lectura y ganancia.

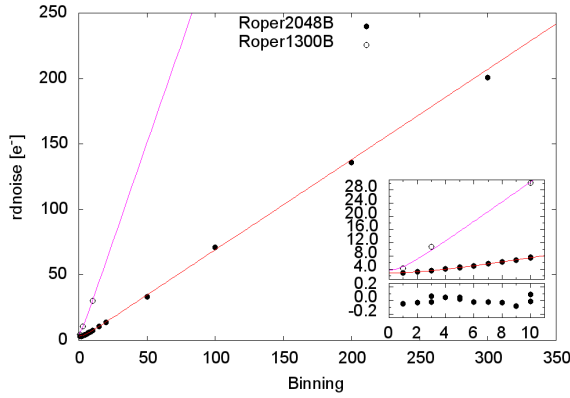


Figura 5: Ajuste de la Ec. 6 a las medidas del $rdnoise$ en función del factor de $binning$. El recuadro muestra en detalle el ajuste para $binning$ entre 1 y 10 y sus residuos. Sólo los valores entre 1 y 10 se utilizaron para el ajuste. Un comportamiento similar se ha encontrado para el CCD Roper1300B para factores de $binning$ 1, 3 y 10.

medida de la carga espuria media que se genera por cada píxel físico durante el proceso de transferencia de carga y produce un ruido de tipo poissoniano. Ajustando la Ec. (6) por mínimos cuadrados se obtiene: $rd_0 = 2.967 \pm 0.027 e^-$ y $C_e = 0.477 \pm 0.005 e^-$.

Por otro lado se calculó el valor del ruido de digitalización resultando: $R_{dig} = \sqrt{(g^2 - 1)/12} = 0.52 e^-$.

7. Corriente de oscuridad

La corriente de oscuridad (dc) se determinó a partir de las 3 imágenes de oscuridad de 1.0 h de integración y de la expresión

$$dc [e^- h^{-1} pix^{-1}] = gain \times \frac{moda(DARK - BIAS)}{binning^2 \times t_{exp}} \quad (7)$$

resultando $dc = 0.1 \pm 0.3 e^- h^{-1} pix^{-1}$, el cual es razonablemente bajo y compatible con el especificado por el fabricante ($dc < 1e^- h^{-1} pix^{-1}$).

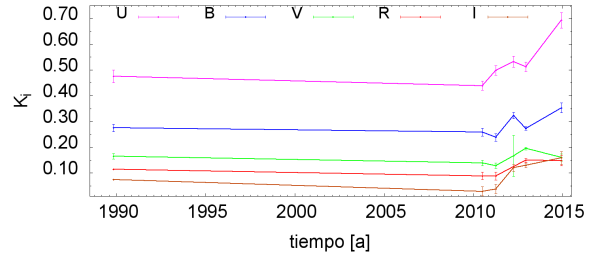


Figura 6: Comparación de K a lo largo del tiempo con los valores de 1989 (Minniti et al., 1989), 2010 y 2011 (www.casleo.gov.ar/info-obs.php; (Baume et al., 2012) y 2012 (Giorgi et al., 2012).

8. Escala en el CCD

Las coordenadas celestes (α, δ) de los objetos pueden deducirse de su posición (x, y) en el detector mediante relaciones lineales del tipo:

$$(\alpha - \alpha_0) \times \cos \delta_0 = c \times x + d \times y + e, \quad (8)$$

$$\delta - \delta_0 = f \times x + g \times y + h, \quad (9)$$

donde α_0 y δ_0 son las coordenadas del centro del campo. Las constantes de placa ($c...h$) fueron determinadas por ajuste de mínimos cuadrados sobre cada una de las ecuaciones en forma independiente. Las escalas de la imagen en dos direcciones ortogonales NS - EW vienen dadas por $s_\alpha = \sqrt{c^2 + d^2}$ y $s_\delta = \sqrt{f^2 + g^2}$.

Para el cálculo se eligió una imagen en la banda R del campo del cúmulo abierto Berkeley 75. Se seleccionaron 20 estrellas bien distribuidas sobre el CCD. Las coordenadas celestes J2000.0 de cada estrella fueron extraídas de Carraro et al. (2005). Los resultados se verificaron usando coordenadas UCAC4 (Zacharias et al., 2013), resultando coincidentes dentro de los errores. Se obtuvieron valores similares para s_α y s_δ , adoptándose el promedio de ambos valores. Así

$$\begin{aligned} escala_{5 \times 5} &= 0.746 \pm 0.001'' \text{ binpix}^{-1}, \\ escala_{1 \times 1} &= 0.1492 \pm 0.0002'' \text{ pix}^{-1}. \end{aligned}$$

y el campo cubierto por el CCD es de $5' 5.6'' \pm 0.4'' \times 5' 5.6'' \pm 0.4''$. Esta escala es algo inferior al valor $0.1524'' \text{ pix}^{-1}$ obtenido de los parámetros del telescopio y del CCD: $f/8.485$, $\phi = 2.153 \text{ m}$ y $\text{pix} = 13.5 \mu\text{m}$ (www.casleo.gov.ar/instrumental/js.php).

9. Coeficientes de extinción

Los coeficientes de extinción de un sitio pueden ser estimados mediante ajustes de las expresiones:

$$m_i = m_i^0 + k_i \times X \quad (\text{Ley de Bouguer}), \quad (10)$$

$$m_i^0 - m_i^{\text{cat}} = z_i + c_i \times IC_i, \quad (11)$$

$$k_i = k'_i + k''_i \times IC_i, \quad (12)$$

Tabla 1: Coeficientes de extinción medidos en el CASLEO

i	k'_i	k''_i	z_i	c_i
U	0.694 ± 0.029	-0.033 ± 0.026	3.361 ± 0.032	-0.016 ± 0.028
B	0.354 ± 0.019	-0.025 ± 0.017	1.846 ± 0.021	0.080 ± 0.018
V	0.160 ± 0.014	-0.011 ± 0.014	1.320 ± 0.018	-0.008 ± 0.016
R	0.148 ± 0.020	0.035 ± 0.018	1.527 ± 0.023	-0.027 ± 0.020
I	0.160 ± 0.024	-0.063 ± 0.021	0.846 ± 0.159	-1.387 ± 0.132

donde $i = U, B, V, R, I$; $IC_i = U-B, B-V, B-V, V-R, V-I$, y m_i y m_i^{cat} son las magnitudes instrumentales y de catálogo de un conjunto de estrellas estándares fotométricas de diversos colores a diferentes masas de aire X . Asimismo, z_i son las magnitudes de punto cero y c_i son los términos de color. Los coeficientes de extinción totales vienen dados por k_i , mientras que k'_i y k''_i indican los valores de primer y segundo orden respectivamente.

Para estimar los coeficientes se observaron los campos SA98 y TPhe (Landolt, 1992) en la noche del 11 al 12 de diciembre de 2014. Se realizó fotometría de apertura con el paquete DAOPHOT/IRAF. Los parámetros surgidos de los ajustes para todas las bandas se presentan en la Tabla 1, y en la Fig. 6 se los compara con medidas previas.

Agradecimientos: Agradecemos a las autoridades y personal del CASLEO por permitir 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 2014” y por facilitar sus recursos informáticos.

Referencias

- Baume G. L., et al., 2012, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 55, 519
 Carraro G., et al., 2005, A&A, 442, 917
 Giorgi E. E., et al., 2012, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 55, 83
 Janesick J. R., 2001, Scientific charge-coupled devices, Bellingham, WA: SPIE Optical Engineering Press, p. 649
 Kinoshita D., et al., 2005, ChJAA, 5, 315
 Landolt A. U., 1992, AJ, 104, 340
 Minniti D., Claria J. J., Gomez M. N., 1989, Ap&SS, 158, 9
 Zacharias N., et al., 2013, AJ, 145, 44