

# Caracterización del CCD Spectral Instruments 2

Ilse Plauchu-Frayn  
Octubre 2022

## Resumen

Se presenta el reporte de caracterización del CCD Spectral Instruments 2 (CCD-Sp2) en el modo de operación a 200 kHz, el cual se llevó a cabo en el Telescopio de 2.1m del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir (OAN-SPM), durante la noche de ingeniería de la rueda de filtros La Italiana el 19 de septiembre de 2022. El procedimiento utilizado para la caracterización es el presentado en [1] y [2].

### I. Características del CCD

El CCD-Sp2 cuenta con un sistema de enfriado por ciclo cerrado. Tiene tres modos de operación con distintas velocidades de lectura, ganancias y ruido de lectura (véase [2]). La temperatura de operación de este CCD es de  $-110^{\circ}\text{C}$ . El tamaño del CCD es de  $2069 \times 2046$  pixeles de 13.5 micras.

En la Tabla I se presenta la eficiencia cuántica (QE, por sus siglas en inglés) indicada por el fabricante para el CCD-Sp2.

TABLA I  
Eficiencia cuántica del CCD-Sp2

$\lambda$	QE
350nm	68%
400nm	90%
500nm	87%
650nm	80%
900nm	35%

En la Tabla II se presentan las mediciones la ganancia y tiempo de lectura en los binnings  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  y  $4 \times 4$ .

TABLA II  
Características electrónicas del CCD-Sp2

Binning	Tamaño imagen (pixeles)	Ganancia ( $e^-/\text{ADU}$ )	Tiempo de lectura (seg.)
$1 \times 1$	$2048 \times 2048$	1.41	29
$2 \times 2$	$1024 \times 1024$	1.32	12
$3 \times 3$	$682 \times 682$	1.31	9
$4 \times 4$	$512 \times 512$	1.30	8

### A. Ruido de lectura

La carga espuria es de  $0.20 e^-$  y el ruido de lectura intrínseco es de  $3.43 e^-$ . En la Figura 1 se presentan los valores del ruido de lectura en función del número de pixeles físicos en los binnings  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  y  $4 \times 4$ .

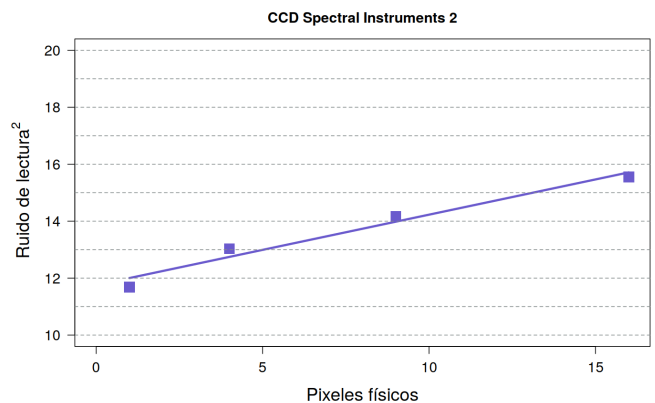


Figura 1. Ajuste para determinar la carga espuria generada durante la operación del CCD basado en las ganancias y ruidos de lectura de la Tabla VII.

### B. Linealidad

Al hacer un ajuste lineal a las mediciones entre cero y su nivel de saturación se encuentra una no linealidad menor al 1.93%, lo cual lo hace un CCD lineal para valores menores a 64,440 ADU. En la Figura 2 se muestra el ajuste realizado.

### C. Frecuencia de bits

En la Figura 3 se presenta la frecuencia de los bits del CCD. Para tal fin, se han utilizado las imágenes de campos planos con  $>40,000$  ADU. Los valores encontrados están dentro del 0.25% del valor de 0.5 para los bits 0 a 9.

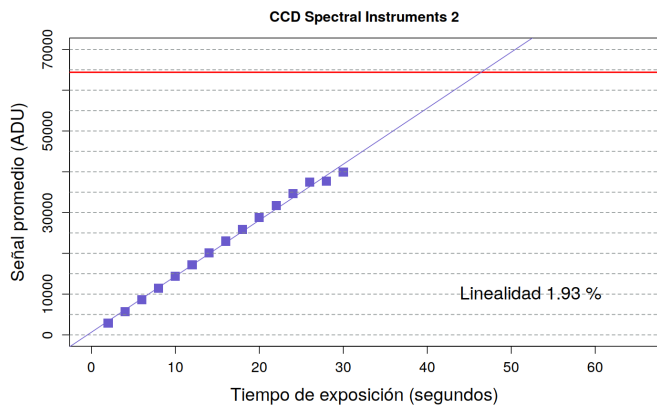


Figura 2. Gráfico de linealidad del CCD-Sp2. La línea roja indica el límite de saturación del CCD a 64,400 ADU.

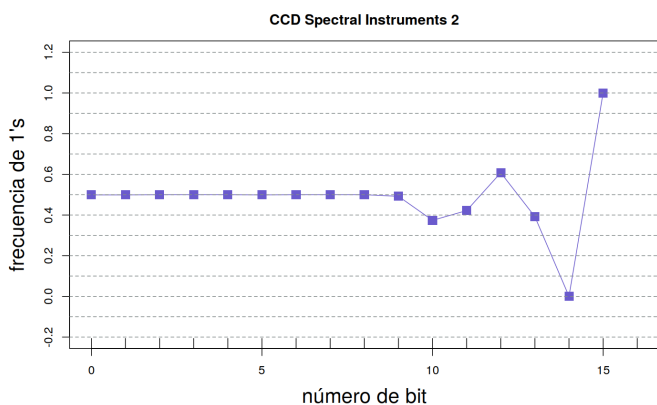


Figura 3. Gráfico de la frecuencia de bits.

#### D. Corriente oscura

Se midió la corriente oscura para los distintos binnings. Para ello se obtuvo una imagen de dark en cada binning con tiempo de exposición de 20 minutos. También se hizo uso de una imagen de bias promedio, la cual se obtuvo de la combinación de 10 imágenes de bias. Posteriormente, se determinó la corriente oscura en las secciones indicadas en la Tabla VI. En la Tabla III se presentan los valores de la corriente oscura para los distintos binnings.

TABLA III  
Corriente oscura del CCD-Sp2 (@200 kHz)

Binning	Ganancia ( $e^-$ /ADU)	Corriente oscura ( $e^-$ /px/hr)
1×1	1.41	2.03
2×2	1.32	1.46
3×3	1.31	2.38
4×4	1.30	8.58

## II. Patrón del obturador

La Figura 4 presenta el patrón del error del obturador usado en este CCD. Este patrón fue calculado a partir de secuencias de campos planos largos (10s) y cortos (0.5s). El patrón es lo esperado para un obturador de 6 pétalos. No obstante hay un pedestal, del orden de 76ms y el tiempo de apertura y cierre parece ser del orden de 96ms. Por lo tanto, se recomienda utilizar tiempos de exposición mayores a 10s, para minimizar el efecto del tiempo de apertura y cierre del obturador en la fotometría.

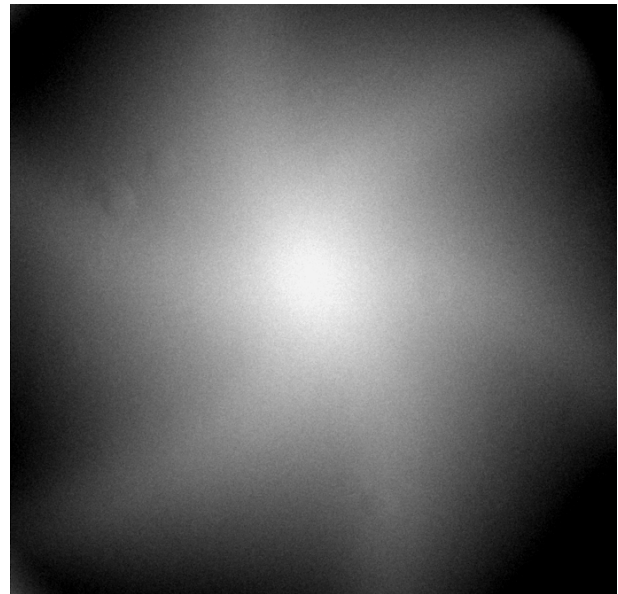


Figura 4. Patrón del obturador. La escala se encuentra en el rango de 76ms a 96ms.

## III. Imagen cero y campos planos

En la Figura 5 se presenta una imagen cero construida de la secuencia de 10 imágenes de bias obtenidas en binning 1×1. Sus contrapartes adquiridas en otros binnings son similares. Puede notarse que la imagen cero con este CCD no presenta gradientes.

En la Tabla IV se presentan los valores promedio y la desviación estándar (una medida del ruido de lectura) para 10 imágenes de bias tomadas consecutivamente en el binning 1×1, medidos en una sección de 300×300px en el centro de cada imagen.

En la Figura 7 se presentan imágenes de campos planos de cielo de cielo en los filtros U, B, V, R, e I de la rueda de filtros La Italiana, con el fin de ilustrar su apariencia usando este CCD. En esta figura se pueden apreciar zonas oscuras tipo “dona” en la parte superior izquierda de cada campo plano. Estas zonas oscuras son producidas por las partículas de polvo en la ventana del criostato. En el campo plano obtenido con el filtro U, además se puede observar una dona de polvo más grande en la parte inferior derecha. Estos defectos no representan

TABLA IV  
Estabilidad de los bias del CCD-Sp2

# Imagen	Promedio (ADU)	$\sigma$ (ADU/px)
1	498.7	3.377
2	498.7	2.945
3	498.7	2.963
4	498.7	5.609
5	498.7	3.097
6	498.7	4.943
7	498.7	2.931
8	498.7	3.026
9	498.7	3.468
10	498.7	3.129

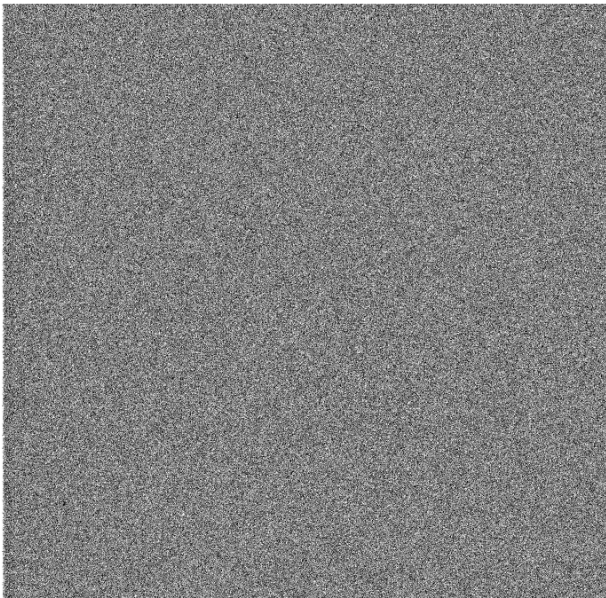


Figura 5. Imagen cero obtenida de la combinación promedio de 10 imágenes de bias.

un problema siempre y cuando se corrijan las imágenes de ciencia con las imágenes de campos planos en su respectivo filtro.

#### IV. Píxeles oscuros y líneas brillantes

Con el fin de identificar píxeles oscuros (aquellos con una menor respuesta a la luz que los píxeles a su alrededor), se obtuvieron 10 imágenes de campos planos de domo en binning  $1 \times 1$  y se combinaron con un promedio. Al inspeccionar la imagen resultante, se encontraron varias zonas con píxeles oscuros. En la Tabla V se indican las coordenadas de dichos píxeles y la diferencia en cuentas con respecto a su entorno, mientras que en la Figura 6 se muestran las zonas donde caen los píxeles oscuros en la imagen. Por otro lado, también se detectaron tres líneas brillantes (con mayor respuesta a la luz que los píxeles a

TABLA V  
Píxeles oscuros en el CCD-M5

# Zona	Coordenada (x,y)	$\Delta$ Cuentas (ADU)
1	(531,769)	2,536
2	(673,569)	1,175
3	(1049,4)	2,005
4	(1195,1719)	13,997
5	(1498,1204)	1,182
6	(1649,578)	1,535
7	(1688,1622)	8,536
8	(1749,1786)	2,171
9	(1772,828)	1,757
10	(1820,947)	2,811
11	(1863,807)	1,594
12	(1947,103)	2,860

su alrededor), las cuales se ubican en las filas  $Y = 508, 1020, 1534$ .

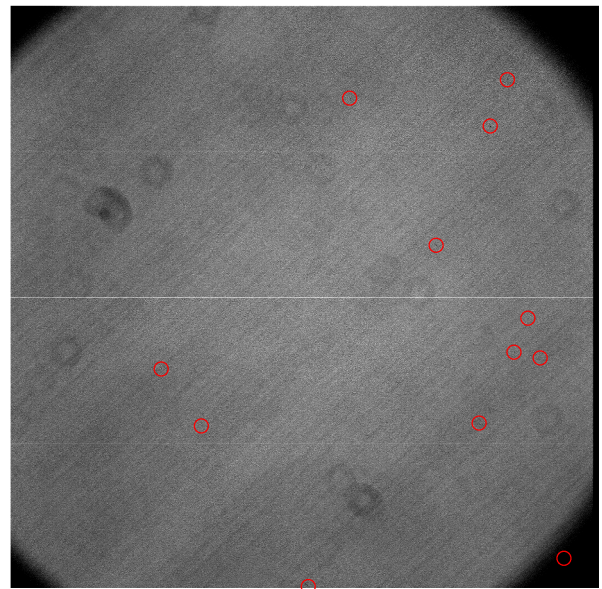


Figura 6. Imagen promedio de 10 campos planos donde se detectan 12 zonas con píxeles oscuros y tres líneas brillantes horizontales (filas  $Y = 508, 1020, 1534$ ) del CCD-Sp2.

TABLA VI  
Secciones para la estadística

Binning	Bias	Corriente oscura	Ganancia y Ruido de lectura
1×1	[850:1250,880:1280]	[1030:130,1090:1190]	[850:1250,880:1280]
2×2	[430:630,440:640]	[506:556,558:608]	[430:630,440:640]
3×3	[280:413,290:423]	[351:384,290:323]	[280:413,290:423]
4×4	[215:315,220:320]	[223:273,205:230]	[215:315,220:320]

TABLA VII  
Características electrónicas del CCD-Sp2 (@200 kHz)

Binning	Tamaño (píxeles)	Ganancia ( $e^-$ /ADU)	Ruido de Lectura ( $e^-$ )	Bias (ADU)	Tiempo de lectura (seg.)	Sección para estadística
1×1	2048×2048	1.41	3.61	499	29	[850:1250,880:1280]
2×2	1024×1024	1.32	3.57	509	12	[430:630,440:640]
3×3	682×682	1.31	3.69	511	9	[280:413,290:423]
4×4	512×512	1.30	3.85	512	8	[215:315,220:320]

#### V. Franjas de interferencia

Se obtuvieron imágenes en los filtro I, R y  $H_\alpha$  de 10 minutos de tiempo de exposición, para verificar si se presenta un patrón de franjas de interferencia o fringing. Se encontró que este patrón solo se observa en el filtro I. La imagen del patrón de franjas de interferencia observado en el filtro I y su amplitud se muestran en la Figura 8. La amplitud de este patrón se midió dentro de una región rectangular (vertical y horizontal) a lo largo de la imagen de CCD con ancho 100 píxeles y se encontró que presenta variaciones de hasta 45 cuentas.

#### Agradecimientos

Se agradece al equipo técnico del OAN-SPM, en especial a Francisco Guillén por su apoyo durante la noche de ingeniería en la que se obtuvieron estas imágenes.

#### Referencias

- [1] Michael Richer & Alan Watson 2009. "Pruebas para la caracterización de los CCDs"  
[2] Michael Richer, Valeria Ramírez & Margarita Pereyra 2014. "Caracterización del CCD Spectral Instruments"

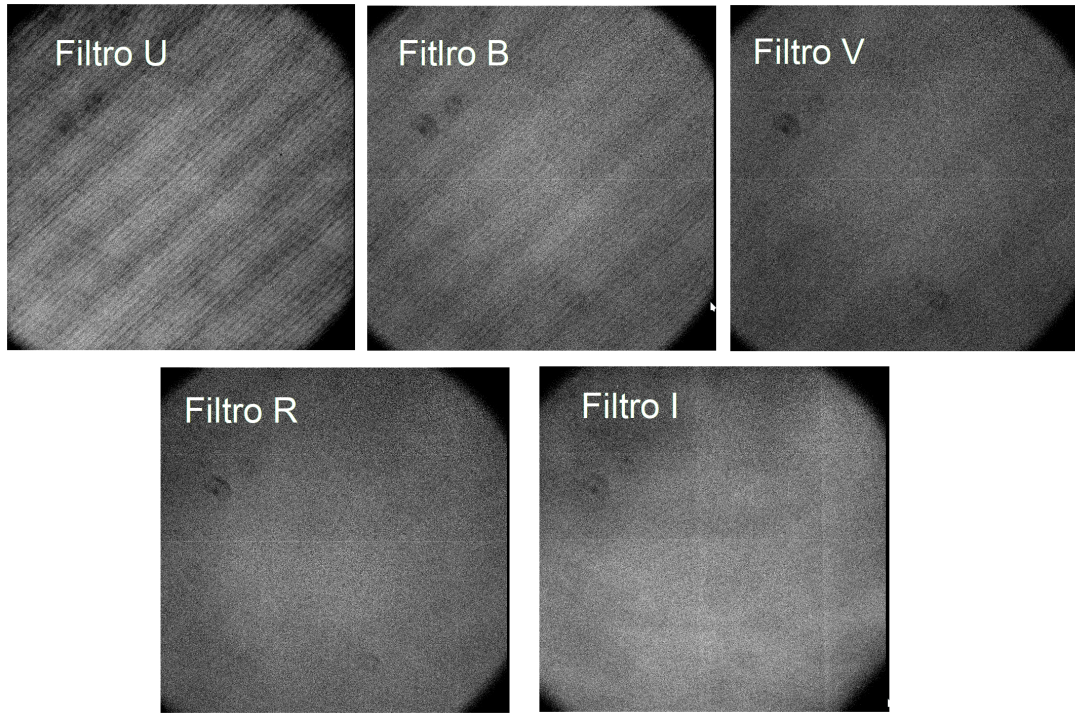


Figura 7. Imágenes de campos planos en los filtros UBVR I de la rueda Mexman. Las pequeña donas que se pueden observar en todas las imágenes (arriba-izquierda) se deben a polvo en la ventana del criostato.

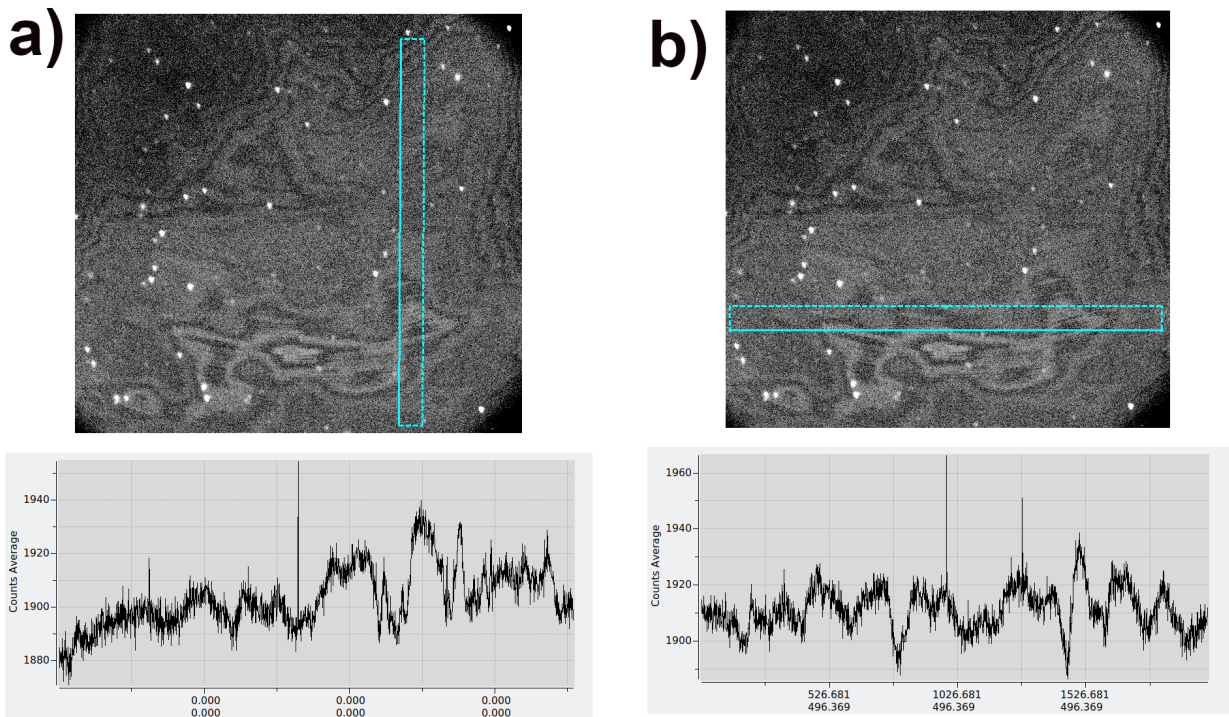


Figura 8. Imagen del patrón de franjas de interferencia y gráfico de su amplitud el filtro I con el CDD-Sp2. La medición de la amplitud de las franjas se hizo dentro una sección rectangular a lo largo de la imagen: a) vertical y b) horizontal con ancho 100 píxeles.