



**PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS DEL  
OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL  
DE SAN PEDRO MÁRTIR**



**Caracterización de la cámara CCD Spectral Instruments 2  
del OAN-SPM.**

**PTI-OAN:0014**

Ilse Plauchu Frayn

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Astronomía, Observatorio Astronómico Nacional, Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ens., B.C., C.P. 22860, Méx.

**Resumen**

Se presenta el reporte de caracterización de la cámara 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). La obtención de las imágenes para caracterizar la cámara con el CCD, se llevó a cabo durante la noche de ingeniería de la rueda de filtros La Italiana del 19 de septiembre de 2022.

**Keywords:** Telescopio 2.1 m, rueda de filtros La Italiana, caracterización, CCD.

Recibido: 04-10-2022

Aceptado: 22-11-2022

Publicado: 25-11-2022

PTI-OAN:0014

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS

OAN-SPM

## 1. CARACTERÍSTICAS ELECTRÓNICAS DEL CCD-SP2

La cámara CCD Spectral Instruments 2 (de aquí en adelante CCD-Sp2) modelo 1100 Series (No. Serie S/N 1100-199) es una de las siete cámaras con dispositivo de carga acoplada (CCD, por sus siglas en inglés), disponibles para su uso en los instrumentos (ruedas de filtros, polarímetros y espectrógrafos) del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir (OAN-SPM).

El CCD-Sp2 cuenta con sistema de enfriado por ciclo cerrado que lo mantiene a una temperatura nominal de operación de  $-110^{\circ}\text{C}$ . Este CCD es un E2V-4240 de  $2048 \times 2048$  pixeles de  $13.5\mu\text{m}$ , y puede trabajar en tres modos de operación (200, 400 y 752 kHz), cada uno con distintas velocidades de lectura, ganancia y ruido de lectura.

En la Tabla 1 se presentan los valores de la eficiencia cuántica (QE, por sus siglas en inglés), indicada por el fabricante para el CCD-Sp2 [1].

**Tabla 1.** Eficiencia cuántica del CCD-Sp2.

LONGITUD DE ONDA	EFICIENCIA CUÁNTICA
350 nm	68%
400 nm	90%
500 nm	87%
650 nm	80%
900 nm	35%

Así mismo, en la Tabla 2 se presentan las mediciones de la ganancia y tiempos de lectura de la imagen para los *binnings*:  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  y  $4 \times 4$ .

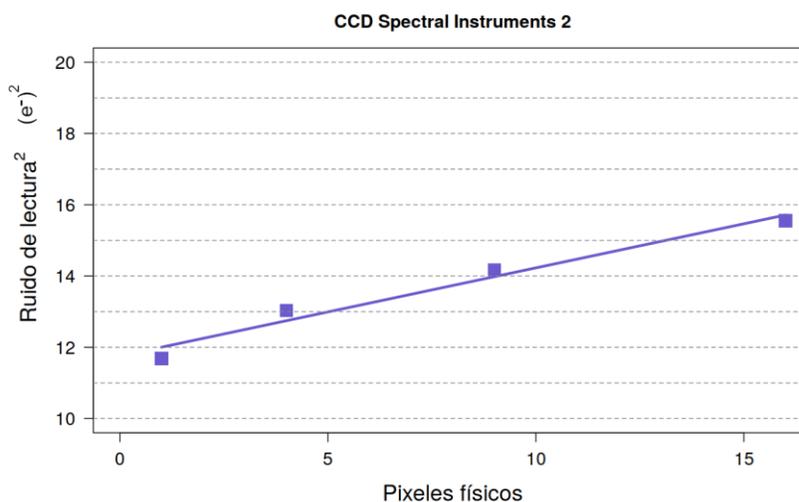
En este reporte presentamos los resultados de la caracterización del CCD-Sp2, los cuales fueron obtenidos siguiendo los procedimientos y recomendaciones presentados en [2], [3] y [4]. Referimos al lector más especializado a estos documentos para mayor información sobre el proceso de caracterización de una cámara CCD de uso astronómico.

### 1.1 Ruido de lectura.

El CCD-Sp2 tiene una carga espuria de  $0.20 e^-$  y un ruido de lectura intrínseco de  $3.43 e^-$ . En la Figura 1 se presenta el gráfico del ruido de lectura al cuadrado en función del número de pixeles físicos en los *binnings*:  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  y  $4 \times 4$ , para determinar la carga espuria. Los valores del ruido de lectura fueron medidos dentro de las secciones indicadas en la Tabla 6 y son presentados en la Tabla 7 para los diferentes *binning*.

**Tabla 2.** Características electrónicas del CCD-Sp2.

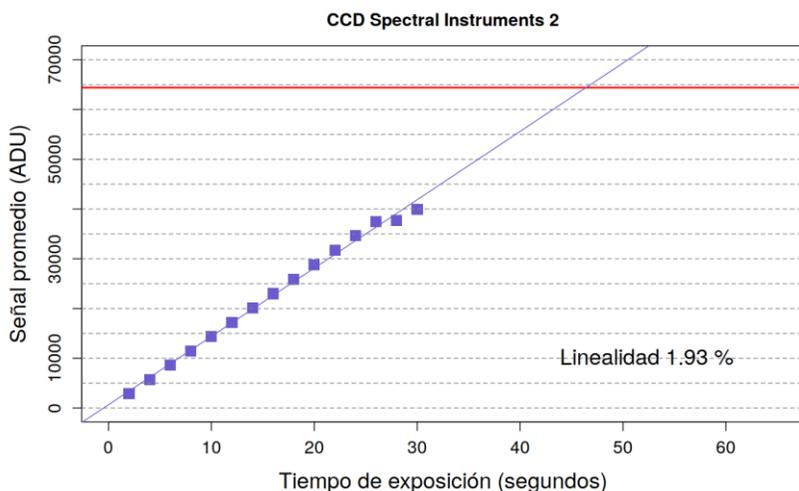
BINNING	TAMAÑO IMAGEN	GANANCIA	TIEMPO DE LECTURA
1×1	2048×2048	1.41 e-/ADU	29 s
2×2	1024×1024	1.32 e-/ADU	12 s
3×3	682×682	1.31 e-/ADU	9 s
4×4	512×512	1.30 e-/ADU	8 s



**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 7.

## 1.2 Linealidad.

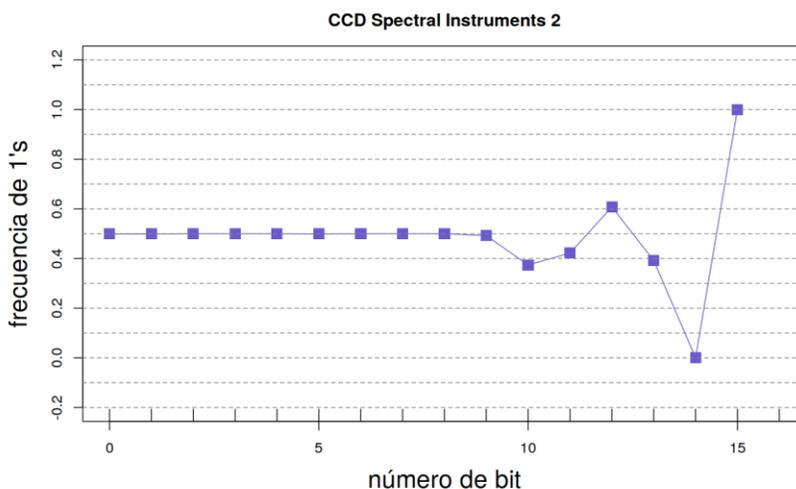
Al hacer un ajuste lineal a las mediciones entre cero y un nivel de 40,000, se encuentra una no linealidad menor al 1.93%, lo cual lo hace un CCD lineal. El límite de saturación de este CCD es de 64,440 ADU. En la Figura 2 se muestra el ajuste lineal realizado.



**Figura 2.** Gráfico de linealidad del CCD-Sp2. La línea roja indica el límite de saturación del CCD a 64,440 ADU.

### 1.3 Frecuencia de bits.

En la Figura 3 se presenta la frecuencia de bits para el CCD-Sp2. Para tal fin, se han utilizado las imágenes de campos planos con cuentas mayores a 40,000 ADU. Los valores encontrados están dentro del 0.25% del valor de 0.5 para los bits del 0 al 9.



**Figura 3.** Gráfico de la frecuencia de bits del CCD-Sp2.

### 1.4 Corriente oscura.

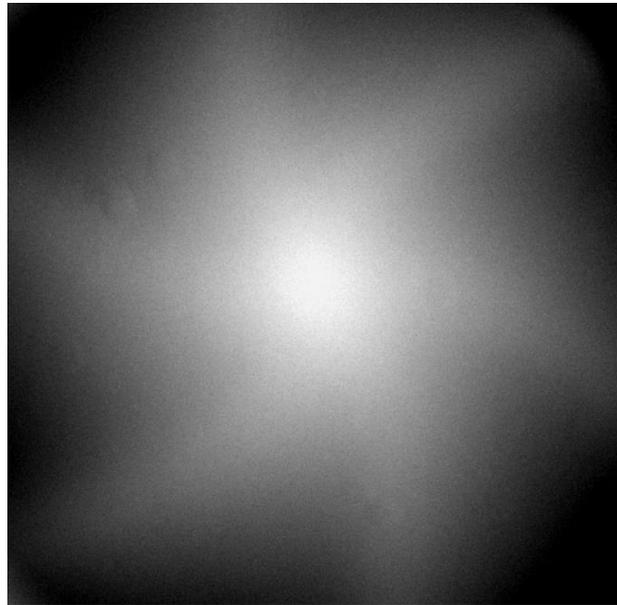
Con el fin de determinar la corriente oscura en las imágenes del CDD-Sp2, se obtuvieron imágenes de corriente oscura o *dark* de 20 minutos de integración, para los *binnings*: 1×1, 2×2, 3×3 y 4×4. Por otro lado, para cada *binning* también se obtuvieron 10 imágenes cero o *bias*, con las cuales se produjo una imagen promedio. Con las imágenes anteriores se determinó la corriente oscura en las secciones de la imagen que se indican más adelante en la Tabla 6. Los valores de la corriente oscura obtenidos en los distintos *binnings* se presentan en la Tabla 3 y 7.

**Tabla 3.** Valores de la corriente oscura del CCD-Sp2.

BINNING	GANANCIA	CORRIENTE OSCURA
1×1	1.41 e-/ADU	2.03 e-/px / hr
2×2	1.32 e-/ADU	1.46 e-/px / hr
3×3	1.31 e-/ADU	2.38 e-/ px / hr
4×4	1.30 e-/ADU	8.58 e-/px / hr

## 2. PATRÓN DEL OBTURADOR

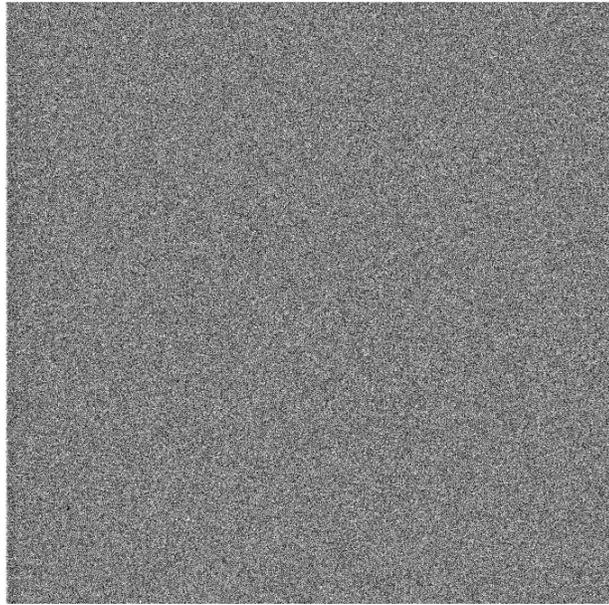
En la Figura 4 se presenta el patrón del obturador usado con el CCD-Sp2. Dicho patrón fue determinado a partir de secuencias de campos planos largos (10 s) y cortos (0.5 s). El patrón obtenido es lo esperado para un obturador de 6 pétalos. Sin embargo, hay un pedestal del orden de 76 ms y el tiempo de apertura y cierre se encuentra que es del orden de 96ms. Por lo tanto, se recomienda utilizar tiempos de exposición mayores a los 10 s, para minimizar el efecto del tiempo de apertura y cierre del obturador en las observaciones.



**Figura 4.** Imagen del patrón del obturador (6 pétalos) del CCD-Sp2.

## 3. IMAGEN CERO Y CAMPOS PLANOS

En la Figura 5 se presenta la imagen cero promedio. Esta imagen fue obtenida de la secuencia de 10 imágenes de *bias*, en el *binning* 1×1. Las imágenes cero promedio para los *binning* 2×2, 3×3 y 4×4 lucen normales y similares a la mostrada en la Figura 5. En esta figura puede notarse que la imagen cero del CCD-Sp2 no presenta gradientes.



**Figura 5.** Imagen cero promedio en *binning* 1×1 del CCD-Sp2.

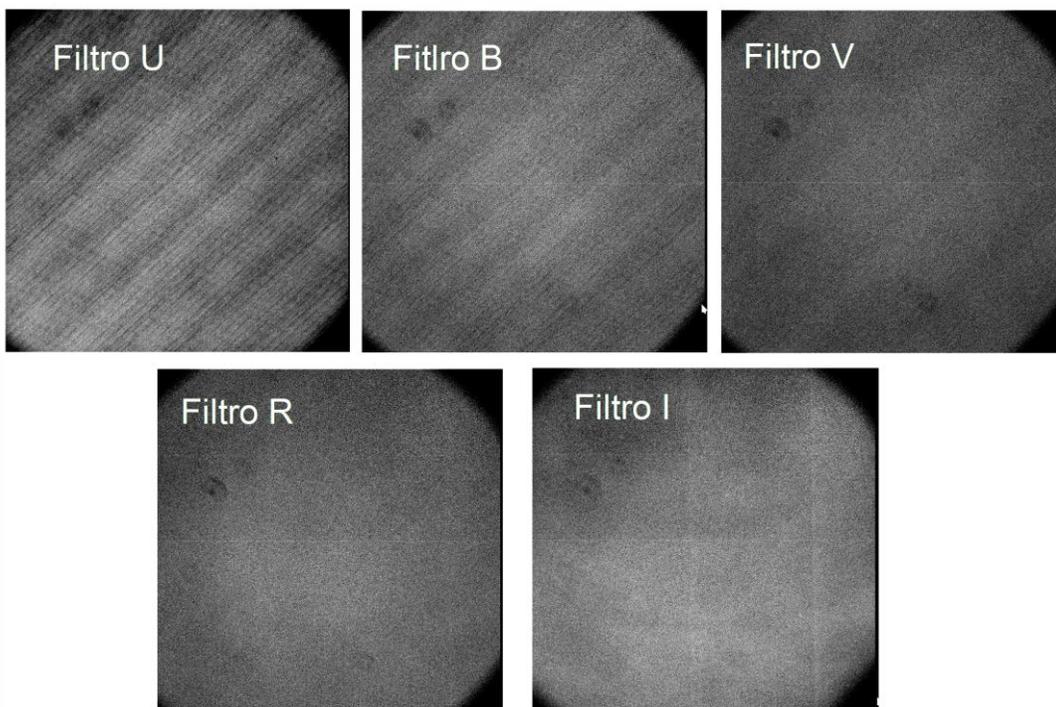
En la Tabla 4 se presentan los valores promedio y la desviación estándar (una medida del ruido de lectura) para 10 imágenes cero tomadas consecutivamente en el *binning* 1×1, medidos en una sección de 300×300px centrada en la imagen.

**Tabla 4.** Estabilidad de las imágenes cero (*bias*) del CCD-Sp2.

IMAGEN	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	498.7 ADU	3.377 ADU /px
2	498.7 ADU	2.945 ADU /px
3	498.7 ADU	2.963 ADU /px
4	498.7 ADU	5.609 ADU /px
5	498.7 ADU	3.097 ADU /px
6	498.7 ADU	4.943 ADU /px
7	498.7 ADU	2.931 ADU /px
8	498.7 ADU	3.026 ADU /px
9	498.7 ADU	3.468 ADU /px
10	498.7 ADU	3.129 ADU /px

En la Figura 6 se muestran las imágenes de campos planos de cielo o *sky flats* en los filtros de Johnson-Cousins U, B, V, R e I de la rueda de filtros La Italiana, con el fin de ilustrar su apariencia usando el CCD-Sp2. En esta figura se pueden apreciar zonas

oscuras tipo “dona” en la parte superior izquierda de cada imagen de 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 un problema siempre y cuando se corrijan las imágenes de ciencia con las imágenes de campos planos en su respectivo filtro.



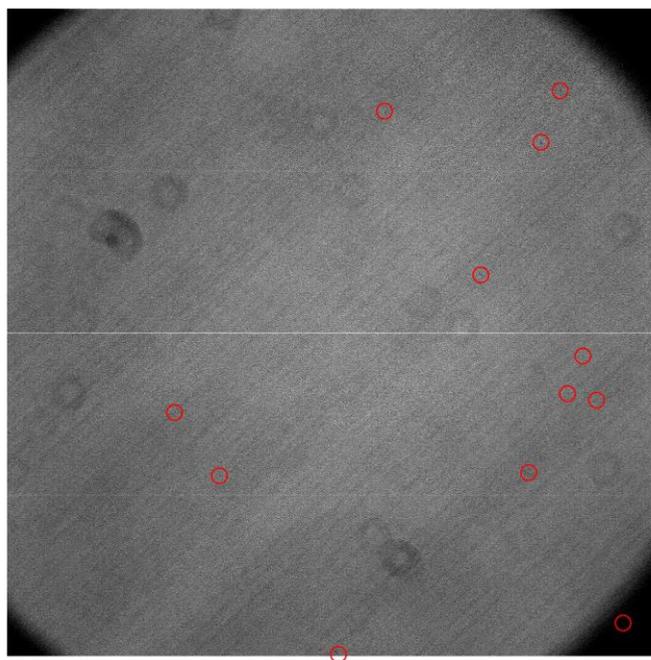
**Figura 6.** Imágenes de campos planos en los filtros de Johnson-Cousins UBVRI de la rueda de filtros La Italiana. Las “donas” que se pueden apreciar en todas las imágenes son motas de polvo en la ventana del criostato.

#### 4. 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* 1×1 y se combinaron para obtener una imagen promedio. Al inspeccionar la imagen resultante, se encontraron varias zonas con píxeles oscuros. En la Tabla 5 se indican las coordenadas de dichos píxeles y la diferencia en cuentas con respecto a su entorno, mientras que en la Figura 7 se muestran las zonas donde caen estos píxeles en la imagen. Por otro lado, también se detectaron tres líneas brillantes (líneas con mayor respuesta a la luz que su alrededor), las cuales se ubican en las filas Y= 508, 1020 y 1534.

**Tabla 5.** Coordenadas de los pixeles oscuros del CCD-Sp2.

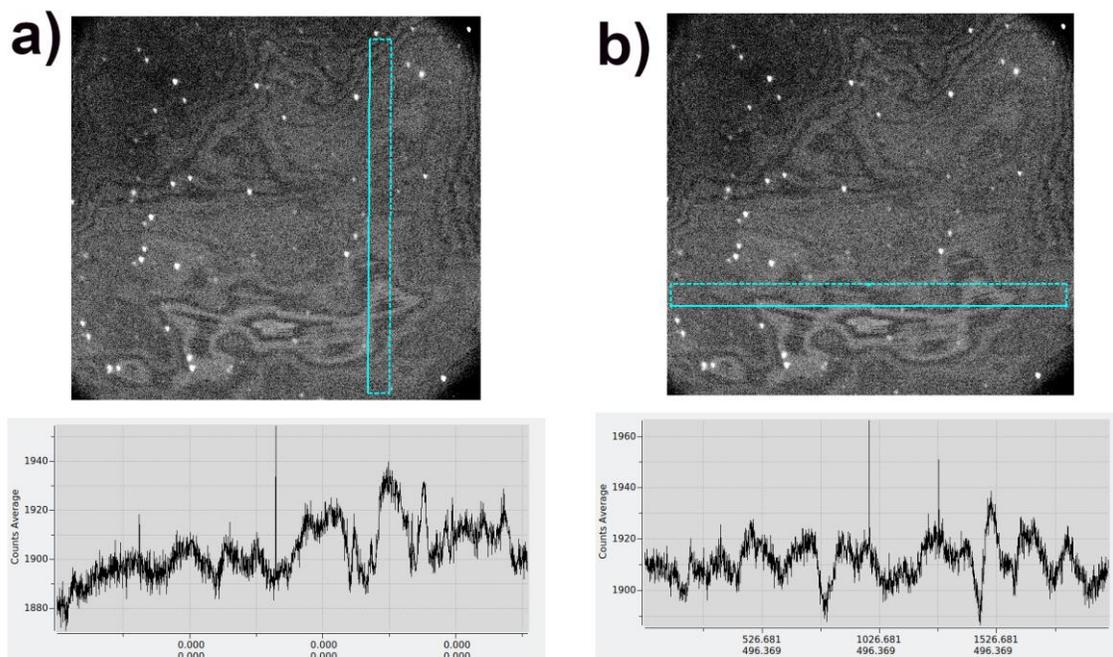
IMAGEN	COORDENADA (X,Y)	$\Delta$ CUENTAS
1	(531,769)	2,536 ADU
2	(673,569)	1,175 ADU
3	(1049,4)	2,005 ADU
4	(1195,1719)	13,997 ADU
5	(1498,1204)	1,182 ADU
6	(1649,578)	1,535 ADU
7	(1688,1622)	8,536 ADU
8	(1749,1786)	2,171 ADU
9	(1772,828)	1,757 ADU
10	(1820,947)	2,811 ADU
11	(1863,807)	1,594 ADU
12	(1947,103)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



**Figura 7.** Imagen promedio de 10 campos planos de domo donde se detectaron 12 zonas con pixeles oscuros y tres líneas brillantes horizontales (filas Y = 508, 120 y 1534) del CCD-Sp2.

## 5. FRANJAS DE INTERFERENCIA

Se obtuvieron imágenes en los filtros I, R y Ha de 10 minutos 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 este filtro y su amplitud se muestran en la Figura 8. La amplitud de este patrón se midió dentro de una región rectangular de ancho 100 píxeles (orientada vertical y horizontalmente) a lo largo de la imagen del CCD y se encontró que presenta variaciones de hasta 45 cuentas.



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

**Tabla 6.** Secciones para determinar la estadística en las imágenes del CCD-Sp2.

BINNING	BIAS, GANANCIA Y RUIDO DE LECTURA	CORRIENTE OSCURA
1×1	[850:1250,880:1280]	[1030:130,1090:1190]
2×2	[430:630,440:640]	[506:556,558:608]
3×3	[280:413,290:423]	[351:384,290:323]
4×4	[215:315,220:320]	[223:273,205:230]

**Tabla 7.** Características electrónicas del CCD-Sp2 (@200 kHz).

BINNING	GANANCIA	CORRIENTE OSCURA	RUIDO DE LECTURA	BIAS	TIEMPO DE LECTURA
1×1	1.41 e-/ADU	2.03 e-/px / hr	3.61 e-	499 ADU	29 s
2×2	1.32 e-/ADU	1.46 e-/px / hr	3.57 e-	509 ADU	12 s
3×3	1.31 e-/ADU	2.38 e-/ px / hr	3.69 e-	511 ADU	9 s
4×4	1.30 e-/ADU	8.58 e-/px / hr	3.85 e-	512 ADU	8 s

## 6. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de la cámara con el CCD-Sp2 y se determinaron características tales como el nivel cero o *bias*, la ganancia, la corriente oscura, el ruido de lectura intrínseco, la carga espuria, el tiempo de lectura, para cada uno de los *binning* en su modo de operación a 200kHz. Se encuentra que el CCD-Sp2 presenta valores similares a los reportados en su única caracterización realizada a esta cámara en el 2014 [3]. Por otro lado, se presentaron las imágenes cero (o *bias*), del patrón del obturador, de zonas oscuras y brillantes, los campos planos (o *flats*) en los diferentes filtros y las franjas de interferencia encontradas en el filtro I. A partir de los resultados de esta caracterización podemos concluir que el CCD-Sp2 sigue operando adecuadamente. El presente documento puede ser utilizado, tanto para la planeación de las observaciones, como para la reducción y calibración de los datos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al equipo técnico del OAN-SPM en turno, por la instalación de la rueda de filtros La Italiana y el CCD-Sp2, en especial al operador de telescopio Francisco Guillén.

## REFERENCIAS

- [1] Especificaciones de fábrica de la cámara CCD Spectral Instruments ([ver aquí](#)).
- [2] Richer, M. & Watson A. (2009). *Pruebas para la caracterización de los CCDs* ([ver aquí](#)).
- [3] Richer, M. Ramírez, V. Pereyra, M. (2014). *Caracterización del CCD Spectral Instruments* ([ver aquí](#)).
- [4] T.M.C. Abbott (1995). *In situ* CCD testing.