



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



### Caracterización de la cámara CCD Marconi 5 del OAN-SPM.

PTI-OAN:0021

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 Marconi 5, el cual se llevó a cabo en el Telescopio de 84cm 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 MEXMAN del 16 de octubre de 2022.

**Keywords:** Telescopio 84 cm, rueda de filtros MEXMAN, caracterización, CCD, Marconi 5.

## 1. CARACTERÍSTICAS ELECTRÓNICAS DEL CCD-M5

La cámara CCD Marconi 5 (de aquí en adelante CCD-M5) - número de inventario UNAM 02498674 - es una de las siete cámaras con dispositivo de carga acoplada (CCD, por sus siglas en inglés), actualmente disponibles para su uso en los instrumentos (ruedas de filtros, polarímetros y espectrógrafos) del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir (OAN-SPM).

El CCD-M5 cuenta con un sistema de enfriamiento por ciclo cerrado que lo mantiene a una temperatura nominal de operación de  $-110^{\circ}\text{C}$ . Este CCD es un E2V-231-42 de  $2048 \times 2048$  pixeles de  $15\mu\text{m}$  que, de acuerdo con el fabricante [1], puede trabajar en tres modos de operación (*slow*, *medium* y *fast*), cada uno con distintas velocidades de lectura, ganancia y ruido de lectura. Actualmente, el CCD-M5 opera en el modo de velocidad *medium*.

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-M5 [1].

**Tabla 1.** Eficiencia cuántica del CCD-M5.

LONGITUD DE ONDA	EFICIENCIA CUÁNTICA
350 nm	58.2%
400 nm	98.7%
500 nm	98.3%
650 nm	98.5%
900 nm	62.6%

En este reporte presentamos los resultados de la caracterización del CCD-M5, 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.

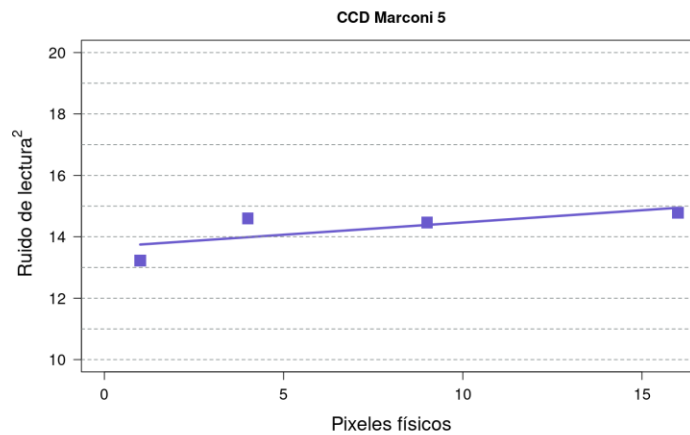
### 1.1 Ruido de lectura.

El CCD-M5 tiene una carga espuria de  $0.08 e^-$  y un ruido de lectura intrínseco de  $3.70 e^-$ . En la Tabla 2 se presentan las mediciones de la ganancia y tiempos de lectura de la imagen correspondientes a los *binnings*:  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  y  $4 \times 4$ . 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 de la imagen

indicadas en la Tabla 6 y son presentados en la Tabla 7 para los valores de *binning* mencionados.

**Tabla 2.** Características electrónicas del CCD-M5.

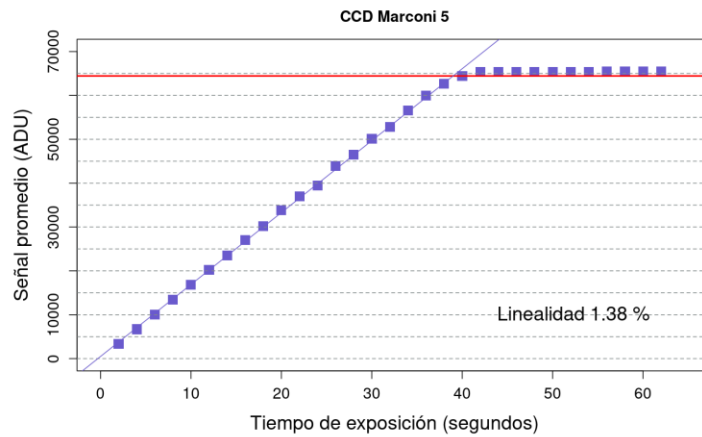
BINNING	TAMAÑO IMAGEN	GANANCIA	TIEMPO DE LECTURA
1×1	2048×2048	2.23 e-/ADU	25 s
2×2	1024×1024	2.23 e-/ADU	12 s
3×3	682×682	2.23 e-/ADU	9 s
4×4	512×512	2.20 e-/ADU	6 s



**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.

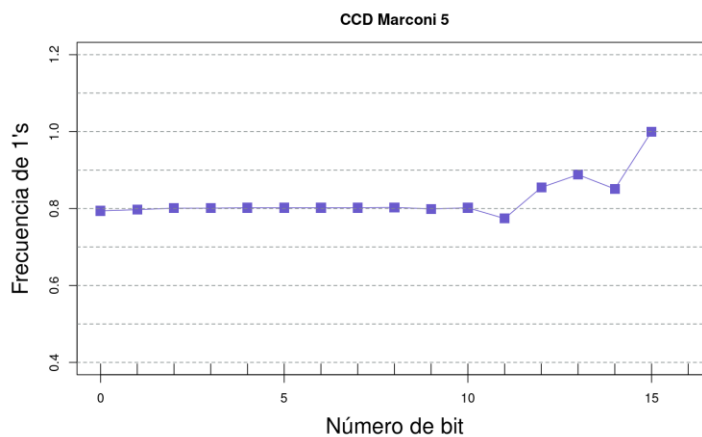
Al hacer un ajuste lineal a las mediciones entre cero y un nivel de 64,432 ADU, se encuentra una no-linealidad menor al 1.38%, por lo tanto, el CCD-M5 puede considerarse como un CCD lineal. El límite de saturación de este CCD es de 65,535 ADU. En la Figura 2 se muestra el ajuste lineal realizado.



**Figura 2.** Gráfico de linealidad del CCD-M5. La línea roja indica el límite de saturación del CCD a 65,535 ADU.

### 1.3 Frecuencia de bits.

En la Figura 3 se presenta la frecuencia de bits para el CCD-M5. Para tal fin, se ha hecho uso de imágenes de campos planos con cuentas mayores a 40,000 ADU y hasta el nivel de saturación. Los valores encontrados están dentro del 0.28% del valor de 0.8 para los bits del 0 al 10.



**Figura 3.** Gráfico de la frecuencia de bits del CCD-M5.

### 1.4 Corriente oscura.

Con el fin de determinar la corriente oscura en las imágenes del CDD-M5, se obtuvieron imágenes de corriente oscura o *dark* de 20 minutos de integración, para los *binning*s: 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

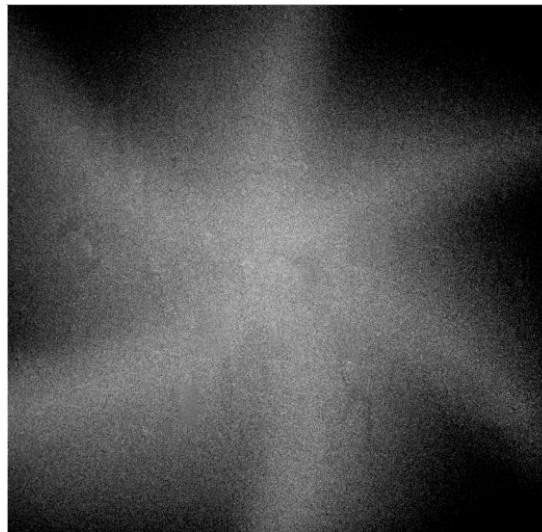
imagen que se indican en la Tabla 6. Los valores de la corriente oscura obtenidos en los distintos *binning*s se presentan en la Tabla 3 y 7.

**Tabla 3.** Valores de la corriente oscura del CCD-M5.

BINNING	GANANCIA	CORRIENTE OSCURA
1×1	2.23 e-/ADU	0.5 e-/px / hr
2×2	2.23 e-/ADU	3.3 e-/px / hr
3×3	2.23 e-/ADU	13.0 e-/px / hr
4×4	2.20 e-/ADU	24.9 e-/px / hr

## 2. PATRÓN DEL OBTURADOR

En la Figura 4 se presenta el patrón del obturador usado con el CCD-M5. 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  $\sim 82$  ms y el tiempo de apertura y cierre se encuentra que es del orden de 60ms. Por lo tanto, se recomienda utilizar tiempos de exposición superior a los 10 segundos, para minimizar el efecto del tiempo de apertura y cierre del obturador en las observaciones.

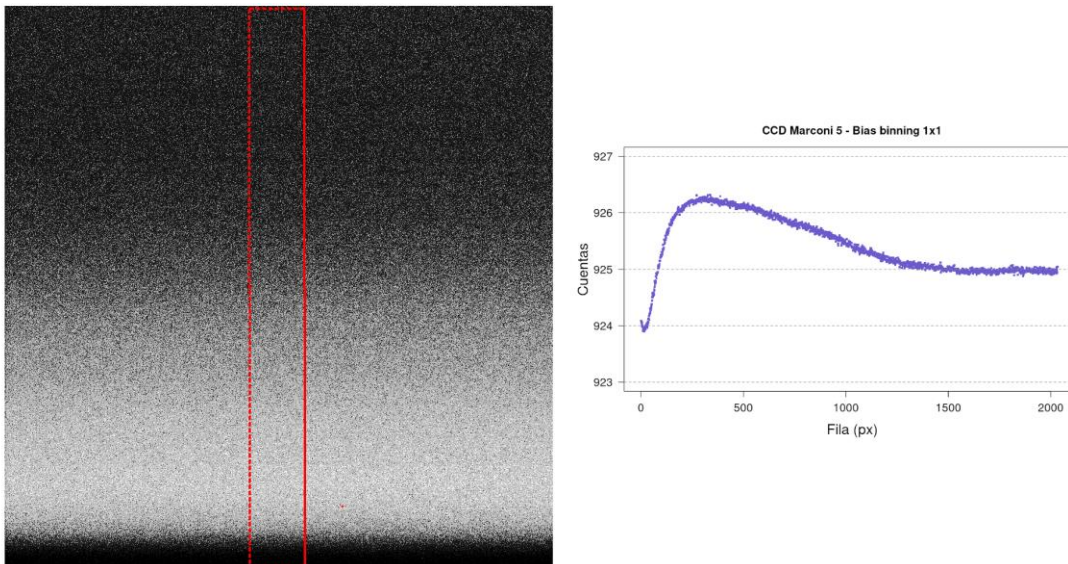


**Figura 4.** Imagen del patrón del obturador (6 pétalos) del CCD-M5.

## 3. IMAGEN CERO Y CAMPOS PLANOS

En la Figura 5 se presenta la imagen cero promedio. Esta imagen fue obtenida de la secuencia de 30 imágenes de *bias*, en el *binning* 1×1. La imagen cero promedio en *binning* 1×1 presenta un gradiente a lo largo de las filas del CCD de amplitud  $\sim 2-3$

cuentas. Dicho gradiente se presenta también en los *binning* 2×2, 3×3 y 4×4, aunque con diferentes amplitudes.



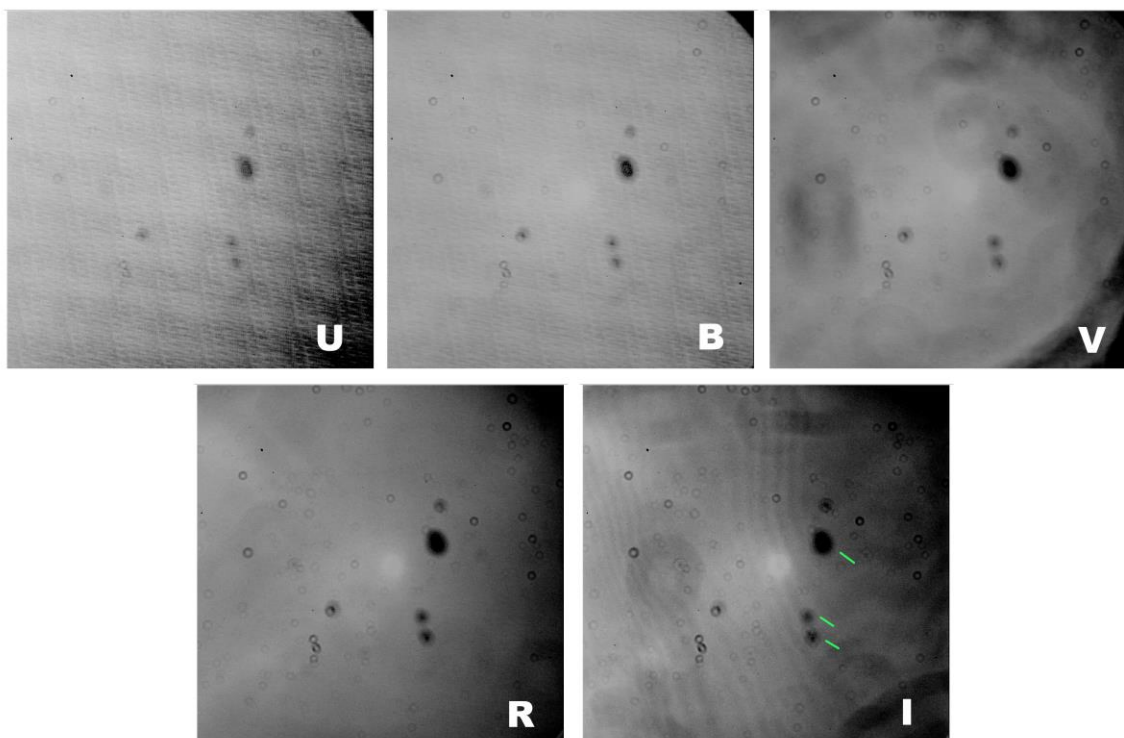
**Figura 5.** Imagen cero promedio en *binning* 1×1 del CCD-M5. Se puede observar que los *bias* con este CCD presentan un ligero gradiente de amplitud ~ 2-3 cuentas a lo largo del eje vertical (filas). La curva azul en el gráfico de la derecha, representa las cuentas promedio en la imagen cero dentro de una caja de ancho 200 píxeles a lo largo de todas las filas del CCD.

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

**Tabla 4.** Estabilidad de las imágenes cero (*bias*) del CCD-M5.

IMAGEN	VALOR PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
1	925.4 ADU	2.480 ADU /px
2	925.4 ADU	2.183 ADU /px
3	925.4 ADU	2.560 ADU /px
4	925.4 ADU	5.444 ADU /px
5	925.4 ADU	2.260 ADU /px
6	925.5 ADU	1.920 ADU /px
7	925.4 ADU	2.956 ADU /px
8	925.5 ADU	7.288 ADU /px
9	925.6 ADU	2.011 ADU /px
10	925.6 ADU	2.404 ADU /px

En la Figura 6 se muestran las imágenes de campos planos de domo en los filtros de Johnson-Cousins U, B, V, R e I de la rueda de filtros MEXMAN, con el fin de ilustrar su apariencia visual usando el CCD-M5. En esta figura se puede apreciar lo siguiente: 1) tres zonas oscuras cerca del centro de la imagen (indicadas con marcas color verde en la imagen del filtro I), las cuales son producidas por residuos de pintura dentro de la ventana de este CCD. Dichos residuos fueron detectados durante esta prueba de caracterización y, posteriormente, removidos por el equipo técnico en turno. 2) zonas oscuras tipo “dona” relativamente pequeñas que se aprecian en todos los filtros, debidas a partículas de polvo en ventana del criostato, y 3) zonas oscuras tipo “dona” relativamente grandes, debidas a partículas de polvo sobre los filtros V, R, e I. 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 UBVR I de la rueda de filtros MEXMAN. Las “donas” que se pueden apreciar en todas las imágenes son motas de polvo en la ventana del criostato (donas chicas) y sobre los filtros (donas grandes).



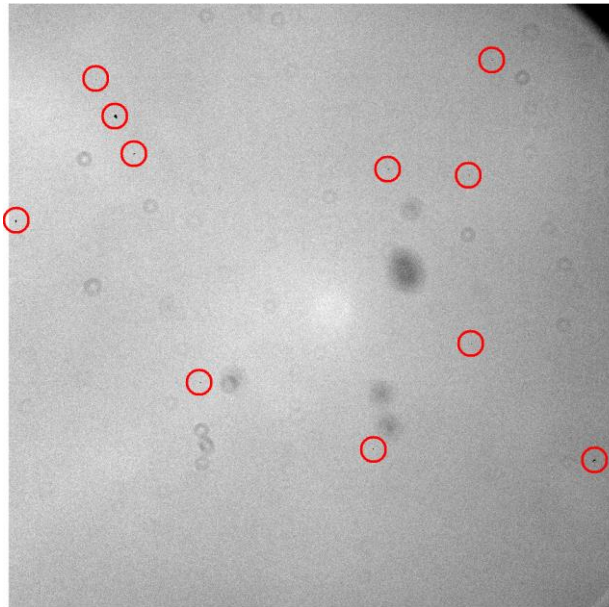
#### 4. PIXELES OSCUROS Y LÍNEAS BRILLANTES

Con el fin de identificar pixeles oscuros, aquellos con una menor respuesta a la luz que los pixeles 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 pixeles oscuros. En la Tabla 5 se indican las coordenadas de dichos pixeles y la diferencia en cuentas con respecto a su entorno ( $\Delta$ cuentas), mientras que en la Figura 7 se muestran las zonas donde caen estos pixeles en la imagen. Por otro lado, no se detectaron líneas brillantes (líneas con mayor respuesta a la luz que su alrededor) con este CCD.

**Tabla 5.** Coordenadas de los pixeles oscuros del CCD-M5.

IMAGEN	COORDENADA (X,Y)	$\Delta$ CUENTAS
1	(28,1319)	2750 ADU
2	(295,1796)	60 ADU
3	(359,1169)	2,200 ADU
4	(423,1543)	550 ADU
5	(643,774)	550 ADU
6	(1230,1491)	225 ADU
7	(1277,1491)	500 ADU
8	(1549,1470)	300 ADU
9	(1557,904)	145 ADU
10	(1628,1858)	150 ADU
11	(1974,512)	1,400 ADU





**Figura 7.** Imagen promedio de 10 campos planos de domo donde se detectaron 11 zonas del CCD-M5 con pixeles oscuros.

## 5. FRANJAS DE INTERFERENCIA

Durante la obtención de las imágenes de esta caracterización no fue posible obtener imágenes del cielo en el filtro I, debido a que las condiciones meteorológicas no permitieron abrir el domo del telescopio. Estas imágenes son útiles para verificar si el CCD-M5 presenta un patrón de franjas de interferencia o *fringing*. Sin embargo, como ocurre con otros CCD Marconi, el Marconi5 presenta franjas de interferencia en el rojo, como se puede apreciar en el campo plano del filtro I de la Figura 6.

**Tabla 6.** Secciones para determinar la estadística en las imágenes del CCD-M5.

BINNING	BIAS, GANANCIA Y RUIDO DE LECTURA	CORRIENTE OSCURA
1×1	[850:1250,880:1280]	[950:1150,970:1170]
2×2	[430:630,440:640]	[596:696,495:595]
3×3	[280:413,290:423]	[276:326,326:376]
4×4	[215:315,220:320]	[316:354,287:325]

**Tabla 7.** Características electrónicas del CCD-M5 (@ medium velocity).

BINNING	GANANCIA	CORRIENTE OSCURA	RUIDO DE LECTURA	BIAS	TIEMPO DE LECTURA
1×1	2.23 e-/ADU	0.5 e-/px / hr	3.64 e-	925 ADU	25 s
2×2	2.23 e-/ADU	3.3 e-/px / hr	3.83 e-	1190 ADU	12 s
3×3	2.23 e-/ADU	13.0 e-/ px / hr	3.82 e-	1250 ADU	9 s
4×4	2.20 e-/ADU	24.9 e-/px / hr	3.81 e-	1280 ADU	6 s

## 6. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de la cámara con el CCD-M5 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 velocidad de operación “*médium*”. Se encuentra que el CCD-M5 presenta valores similares a los reportados en su única caracterización realizada a esta cámara en el 2019 [5]. Por otro lado, se presentaron las imágenes cero (o *bias*), del patrón del obturador, de las zonas oscuras y los campos planos (o *flats*) en los diferentes filtros. A partir de los resultados de esta caracterización podemos concluir que el CCD-M5 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 en turno del OAN-SPM por la instalación de la rueda de filtros MEXMAN y la cámara CCD-M5.

## REFERENCIAS

- [1] Especificaciones de fábrica de la cámara CCD Marconi 5 ([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.
- [5] Plauchu-Frayn, I. (2019). Caracterización del CCD Marconi 5 ([ver aquí](#)).