



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



**Estado actual y caracterización de la cámara CCD Marconi 2
del OAN-SPM.**

PTI-OAN:0023

Ilse Plauchu Frayn & Félix Díaz Santos

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 2, el cual se llevó a cabo en el Telescopio de 1.5m 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 pruebas al telescopio y rueda de filtros RUCA-2 del 17 de mayo de 2023.

Keywords: Telescopio 1.5 m, rueda de filtros RUCA-2, caracterización, CCD, Marconi 2.

1. CARACTERÍSTICAS ELECTRÓNICAS DEL CCD-M2

La cámara CCD Marconi 2 (de aquí en adelante CCD-M2) 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-M2 cuenta con sistema de enfriado con nitrógeno líquido que lo mantiene a una temperatura nominal de operación de -110°C (rellenado cada 8 horas). Este CCD es un E2V-4240 de 2048×2048 pixeles de $13.5 \mu\text{m}$ [1]. En la Tabla 1 se presentan los valores de la eficiencia cuántica (QE, por sus siglas en inglés), indicada por el fabricante [1] para este CCD.

En este reporte presentamos los resultados de la caracterización del CCD-M2, 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.

Tabla 1. Eficiencia cuántica del CCD-M2.

LONGITUD DE ONDA	EFICIENCIA CUÁNTICA
350 nm	70%
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 *binning*: 1×1 , 2×2 , 3×3 y 4×4 . Las secciones donde han sido medidas la ganancia, ruido de lectura y nivel de *bias* son: [850:1250,880:1280] en el *binning* 1×1 , [430:630,440:640] en el *binning* 2×2 , [280:413:290:423] en el *binning* 3×3 y [215:315,220:320] en el *binning* 4×4 . Se encuentra que los valores de la ganancia son ligeramente mayores a los reportados en el 2016 [5].

Tabla 2. Características electrónicas del CCD-M2.

BINNING	TAMAÑO IMAGEN	GANANCIA		TIEMPO DE LECTURA
		2023	2016	
1×1	2048×2048	2.22 e-/ADU	1.44 e-/ADU	15 s
2×2	1024×1024	1.94 e-/ADU	1.30 e-/ADU	6 s
3×3	682×682	1.91 e-/ADU	1.31 e-/ADU	6 s
4×4	512×512	2.02 e-/ADU	1.44 e-/ADU	6 s

1.1 Ruido de lectura.

El CCD-M2 tiene una carga espuria de $0.07 e^-$ y un ruido de lectura intrínseco de $3.73 e^-$. En la Figura 1 se presenta el gráfico del ruido de lectura al cuadrado en función del número de píxeles físicos en los *binning*s: 1×1 , 2×2 , 3×3 y 4×4 , para determinar la carga espuria. Los valores del ruido de lectura son presentados en la Tabla 3 y fueron medidos en cada *binning* en las secciones indicadas anteriormente. Se encuentra que los valores del ruido de lectura son ligeramente mayores a los reportados en el 2016.

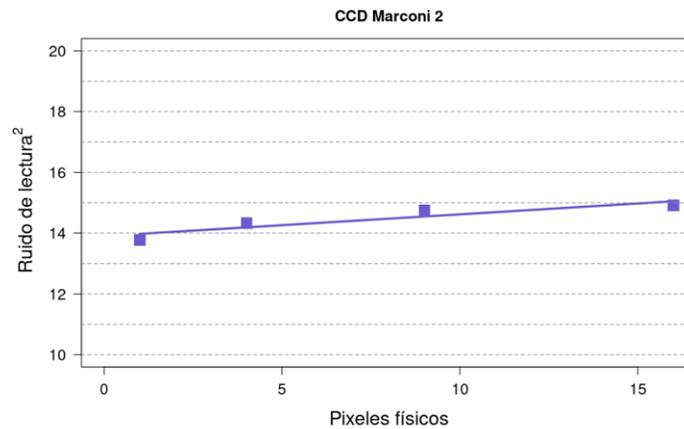


Figura 1. Ajuste para determinar la carga espuria generada durante la operación del CCD-M2, basado en las ganancias y ruidos de lectura de la Tabla 3.

Tabla 3. Otras características electrónicas del CCD-M2.

BINNING	RUIDO DE LECTURA		BIAS		TIEMPO DE LECTURA
	2023	2016	2023	2016	
1×1	4.08 e ⁻	2.14 e ⁻	862 ADU	568 ADU	15 s
2×2	3.63 e ⁻	2.13 e ⁻	875 ADU	575 ADU	6 s
3×3	3.62 e ⁻	2.11 e ⁻	884 ADU	580 ADU	6 s
4×4	3.85 e ⁻	2.22 e ⁻	891 ADU	584 ADU	6 s

1.2 Linealidad.

Al hacer un ajuste lineal a las mediciones entre cero y su nivel de saturación se encuentra una no-linealidad menor al 1.68%, lo cual lo hace un CCD lineal para valores menores a 54,816 ADU. En la Figura 2 se muestra el ajuste lineal realizado.

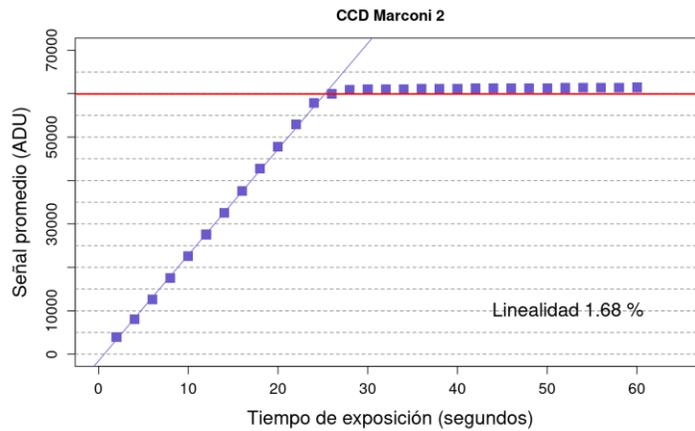


Figura 2. Gráfico de linealidad del CCD-M2. La línea roja indica el límite por debajo del cual el CCD es lineal (57,816 ADU).

1.3 Frecuencia de bits.

En la Figura 3 se presenta la frecuencia de bits para el CCD-M2. Para tal fin, se ha hecho uso de imágenes de campos planos con cuentas mayores a 40,000 ADU. Los valores encontrados están dentro del 0.05% del valor de 0.92 para los bits del 0 al 10.

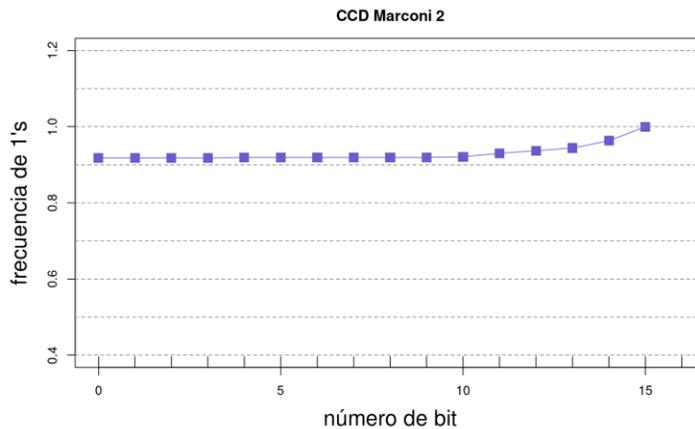


Figura 3. Gráfico de la frecuencia de bits del CCD-M2.

1.4 Corriente oscura.

Se obtuvieron imágenes de la corriente oscura (“*darks*”) de 20 minutos con obturador cerrado (@ -110°C) en los *binning* 1×1, 2×2, 3×3 y 4×4. Así mismo, se hizo uso de una imagen promedio de *bias* en cada *binning*, la cual se obtuvo de la combinación de las últimas 5-10 imágenes de *bias* de una secuencia. Lo anterior, debido a que los primeros 10-15 *bias* de una secuencia presentan cuentas ligeramente mayores que el resto (véase Sección 2). Posteriormente, se intentó determinar la

corriente oscura, sin embargo, se encontró que los *bias* tienen 10-30 más cuentas que las de la corriente oscura. Por lo anterior, no fue posible determinar los valores de la corriente oscura de este CCD.

Por otro lado, las imágenes de la corriente oscura presentan gran cantidad líneas horizontales brillantes. Lo mismo sucede con los *bias* individuales, pero estas líneas desaparecen al crear la imagen promedio del *bias*. En el caso de las imágenes de la corriente oscura, estas líneas permanecen y se van acumulando en la imagen. En la Figura 4a se muestra la imagen de corriente oscura (“*dark*”) obtenida con el CCD-M2, donde se pueden apreciar líneas horizontales brillantes y en la Figura 4b se muestra una imagen del mismo tipo, pero de aspecto normal obtenida con el CCD-Sp2, ambas de 20 minutos de tiempo de exposición.

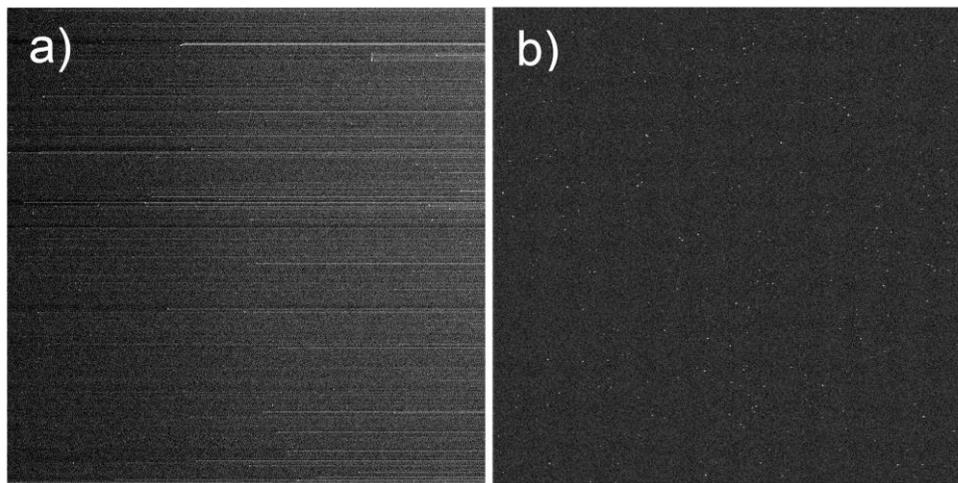


Figura 4. Imagen de la corriente oscura (“*dark*”) de 20 minutos obtenida con: a) el CCD-M2 donde se observan gran cantidad líneas brillantes y b) el CCD-Sp2 normal.

2. IMAGEN CERO Y CAMPOS PLANOS

En la Figura 5a se muestra la imagen de *bias* promedio a partir de 45 imágenes en *binning* 1×1 (eliminando las primeras 15 imágenes de una secuencia de 60), la cual no presenta ningún patrón de interferencia producido por la electrónica, pero sí un gradiente diagonal de 10 cuentas (véase Fig. 5b). Este mismo gradiente se presenta en los demás *binnings*. Sin embargo, este gradiente no representa un problema ya que puede ser removido de las imágenes de ciencia mediante la sustracción de la imagen *bias* promedio.

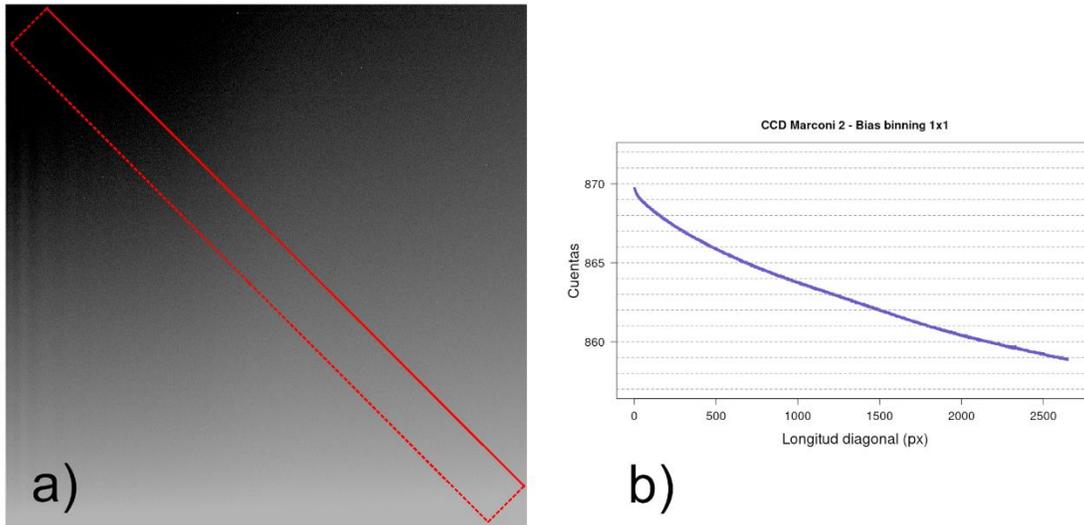


Figura 5. a) Imagen *bias* promedio en *binning* 1×1 del CCD-M2, donde se puede observar que los *bias* con este CCD presentan un gradiente diagonal de ~ 10 cuentas y b) la curva azul en el gráfico representa las cuentas promedio en la imagen de *bias*.

Por otro lado, al tomar una secuencia de 60 imágenes de *bias* y medir en una caja de 300×300px centrada en cada imagen el valor promedio, se encuentra que las primeras 15 imágenes de la secuencia presentan valores ligeramente mayores que el resto. En la Figura 6 se presenta un gráfico que muestra este comportamiento. Este efecto ya ha sido observado en el pasado con el CCD-M2, independientemente del *binning* que se utilice. Se recomienda al usuario adquirir una secuencia de 50 imágenes de *bias* y utilizar solamente las últimas 30 imágenes de la secuencia.

Las imágenes de los campos planos promedio de cielo se obtuvieron a partir de 5 imágenes en los filtros anchos UBVRi del sistema Johnson-Cousins, instalados en la rueda de filtros RUCA-2. Estas imágenes presentan un aspecto normal, pero debido a limitaciones en espacio hemos omitido la presentación de los mismos en una figura.

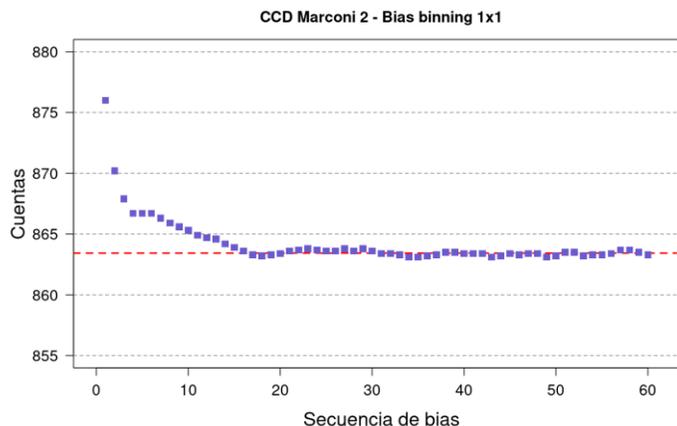


Figura 6. Valor promedio de las cuentas de cada imagen para una secuencia de 60.

3. PIXELES OSCUROS.

Con el fin de identificar pixeles oscuros, aquellos con una menor respuesta a la luz que los pixeles a su alrededor, se obtuvieron 20 imágenes de campos planos de domo de bajas cuentas ($\sim 2000-3000$ ADU) en *binning* 1×1 y se combinaron con una mediana. Al inspeccionar la imagen resultante se detectaron varias zonas con pixeles oscuros. En la Figura 7 se muestran las ubicaciones de estos pixeles dentro de círculos rojos. La diferencia en cuentas entre la periferia y estos pixeles está entre las 30 y 500 cuentas. Se recomienda al usuario evitar colocar el objeto de interés en las posiciones indicadas en la Figura 7.

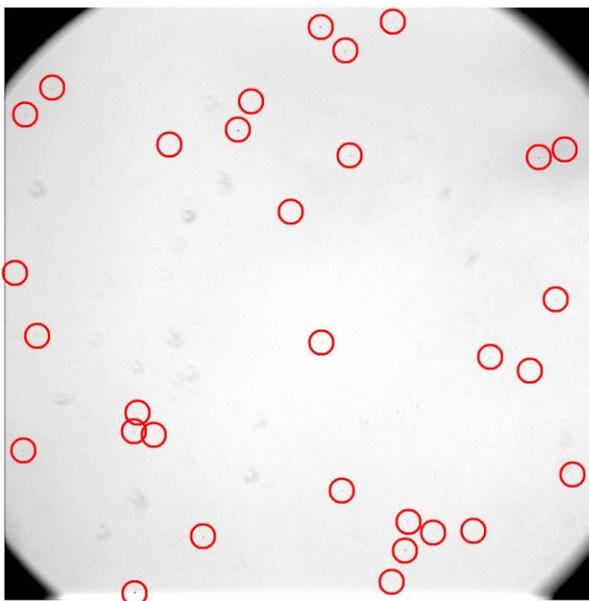


Figura 7. Imagen promedio de 20 campos planos de domo donde se detectaron 30 zonas con pixeles oscuros del CCD-M2.

4. FRANJAS DE INTERFERENCIA

En la Figura 8 se muestra el patrón de franjas de interferencia y su amplitud encontrada en el CCD-M2. Este patrón de franjas fue obtenido mediante la combinación de 9 imágenes de 10 minutos de exposición en el filtro I en un campo vacío. Así mismo, en la Figura 8 se indican las regiones donde se han medido las amplitudes de las franjas y el gráfico para cada región. A partir de estas mediciones se encontró que la amplitud de las franjas de interferencia para el CCD-M2 puede variar entre 5 a 20 cuentas. Se recomienda al usuario corregir por este efecto en observaciones realizadas con el filtro I, mediante la creación de una imagen como la mostrada en la Figura 8.

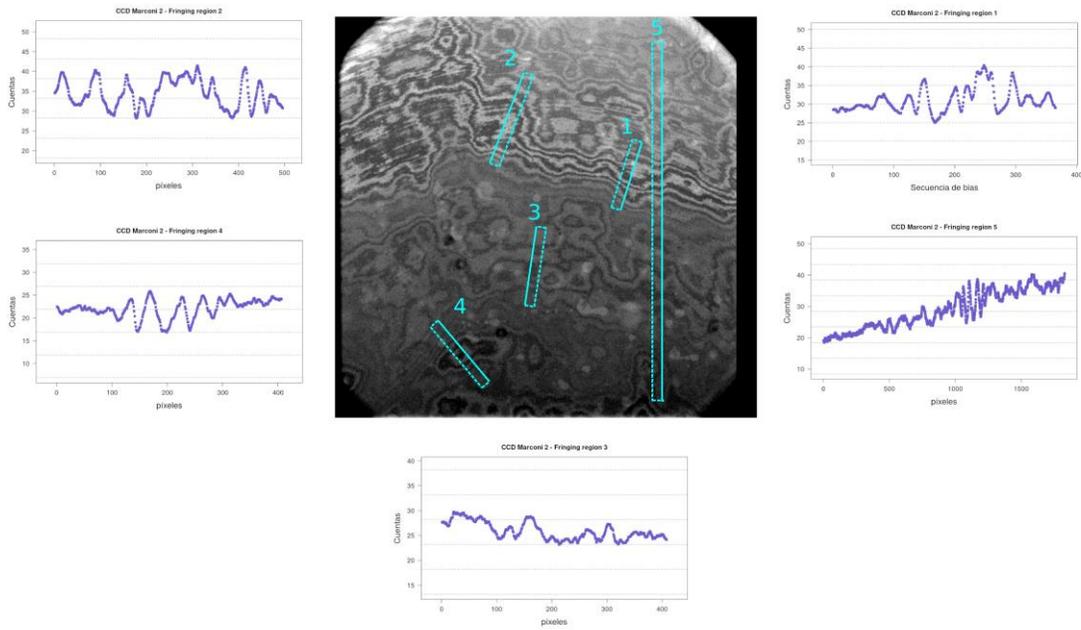


Figura 8. Imagen del patrón de franjas de interferencia en el filtro I y gráficos de la amplitud de cinco regiones para el CCD-M2. La medición de la amplitud de las franjas se hizo dentro de una sección rectangular de ancho 50px.

5. OTROS DETALLES EN LA IMAGEN CCD

Durante las pruebas realizadas al CCD, además de las imágenes necesarias para su caracterización, se obtuvieron imágenes de objetos celestes. En estas últimas se encontró que al realizar exposiciones cortas (0.1 a 5 seg.) de objetos muy brillantes, se obtiene en un lado del objeto una franja clara y al lado opuesto una franja oscura como se muestra en la Figura 9. Esto no es producido por una falla en el obturador, ya que en ocasiones al resetear el controlador del CCD y/o resetear sus fibras, dicho patrón desaparece. Si fuera un efecto del obturador solo se esperaría ver la franja brillante, no la oscura.

Otro aspecto no deseado encontrado en las imágenes es un reflejo, el cual se muestra en la Figura 10. Este reflejo se presenta comúnmente en imágenes de larga exposición (~600-900 seg.) con el filtro Ha. Este reflejo podría estar relacionado a la gran cantidad de focos LED (azules, rojos y verdes) de los diferentes dispositivos instalados en la platina del telescopio y en el mismo domo (e.g. el rack y cámaras web). Se recomienda cubrir el rack con una tela negra y tapar (o cuando sea posible deshabilitar) los diferentes focos LED.

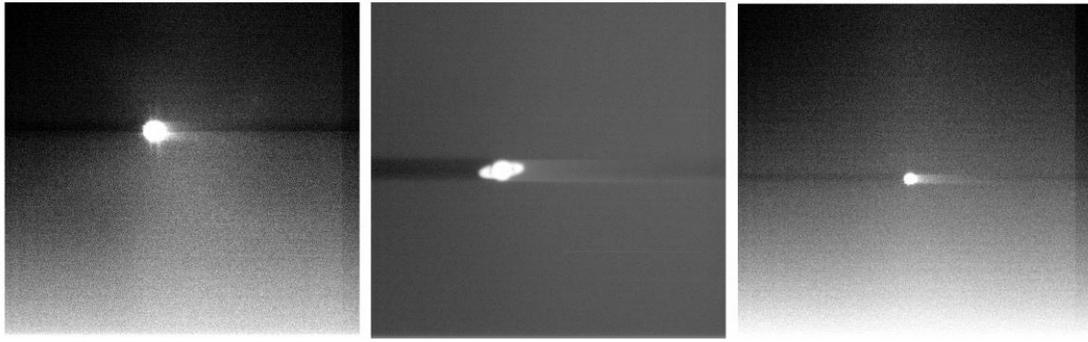


Figura 9. Patrón encontrado alrededor del objeto celeste de interés. Dicho patrón ocurre únicamente en exposiciones cortas hechas en objetos muy brillantes.

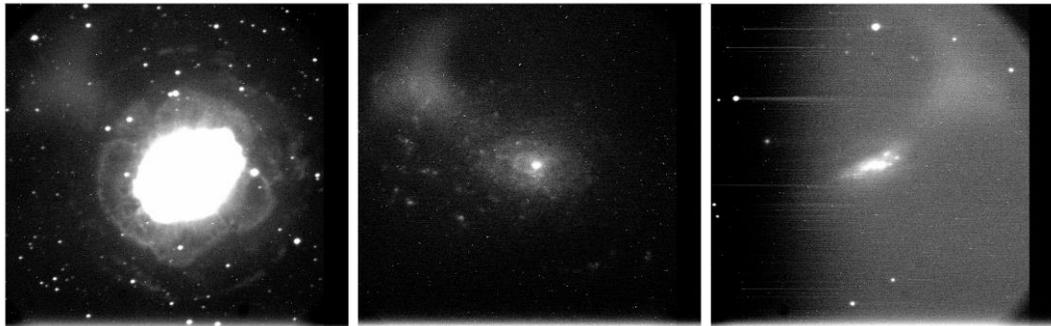


Figura 10. Reflejo en esquinas superiores encontrado en imágenes de larga exposición, principalmente en el filtro H α .

Por otro lado, en el encabezado (*header*) de las imágenes falta indicar información importante como la ascensión recta (RA), declinación (DEC), ángulo horario (AH) y masa de aire (AIRMASS), parámetros importantes para calibración fotométrica y espectroscópica.

6. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de la cámara con el CCD-M2 y se determinaron características tales como el nivel cero o *bias*, la ganancia, el ruido de lectura intrínseco, la carga espuria, el tiempo de lectura, para cada uno de los *binnings*. Se encuentra que el CCD-M2 presenta: 1) valores ligeramente mayores de la ganancia y ruido de lectura a los reportados en el pasado, 2) imágenes de la corriente oscura con un nivel de cuentas menor que el nivel promedio del *bias*, lo cual es un comportamiento anormal para un CCD (no es posible medir la corriente oscura), 3) patrón claro/oscuro en exposiciones cortas de objetos brillantes y 4) reflejos en las imágenes de larga exposición.

A partir de los resultados de esta caracterización podemos concluir que el CCD-M2 no está operando óptimamente para su uso en fotometría y/o espectroscopía. Se recomienda una temporada de mantenimiento para este CCD, destinada a

determinar las causas de los diferentes defectos encontrados en el mismo y antes de ofertarlo para las observaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al equipo técnico del OAN-SPM por la instalación y preparación del CCD-M2 para su caracterización, en especial el apoyo de Luis Ortiz y Francisco Guillén en el relleno de nitrógeno de la botella criogénica de la cámara.

REFERENCIAS

- [1] Especificaciones de fábrica de la cámara CCD Marconi 2 ([véase aquí](#)).
- [2] Richer, M. & Watson A. (2009). *Pruebas para la caracterización de los CCDs* ([véase aquí](#)).
- [3] Richer, M. Ramírez, V. Pereyra, M. (2014). *Caracterización del CCD Spectral Instruments* ([véase aquí](#)).
- [4] T.M.C. Abbott (1995). *In situ* CCD testing.
- [5] Plauchu Frayn, I. (2016). *Caracterización del CCD Marconi 2* ([véase aquí](#)).

APÉNDICE A

En la Tabla A1, se presentan los valores de las cuentas (ADU) medidos en una caja central de la imagen del *dark* y la imagen *bias* promedio. En la Tabla A2, se presentan 5 valores de la ganancia y ruido de lectura medidos en *binning* 1x1, los cuales son promediados y presentados en las Tablas 2 y 3. Por último, en la Tabla A3 se presentan los tiempos de exposición y cuentas promedio, estas últimas medidas en una caja central (200x200px) en 12 imágenes de campos planos, en las cuales también se detectan pixeles oscuros (véase Sección 3). Lo anterior, indicando que dichos pixeles oscuros están presentes en todo el rango lineal del detector.

BINNING	CUENTAS $\Delta(\text{dark} - \text{bias})$	CUENTAS bias
1x1	-10.7	862
2x2	-17.6	875
3x3	-24.8	884
4x4	-24.9	891

GANANCIA	RUIDO DE LECTURA
2.25	3.99
2.21	4.03
2.21	4.15
2.21	4.06
2.21	4.16

CAMPO PLANO	TIEMPO EXP. (seg.)	CUENTAS PROMEDIO (ADUs)
1	2	5218
2	4	9788
3	6	14787
4	8	20211
5	10	25855
6	12	31304
7	14	36767
8	16	42356
9	18	48093
10	20	53659
11	22	59348
12	24	64582