



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



## Caracterización de la cámara CCD Marconi 3 del OAN-SPM.

PTI-OAN:0024

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 3, 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 realizó la noche del 13 de junio de 2023, posterior a las pruebas del aluminizado de los espejos primario y secundario de este telescopio. El instrumento instalado durante dichas pruebas fue la rueda de filtros RUCA-2.

**Keywords:** Telescopio 1.5 m, rueda de filtros RUCA-2, caracterización, CCD, Marconi 3.

Recibido: 22-06-2023

Aceptado: 04-08-2023

Publicado: 07-08-2023

PTI-OAN:0024

PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS INTERNOS

OAN-SPM

## 1. CARACTERÍSTICAS ELECTRÓNICAS DEL CCD-M3

La cámara CCD Marconi 3 (de aquí en adelante CCD-M3), con número de serie S/N 508, 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-M3 cuenta con un sistema de enfriamiento con nitrógeno líquido que lo mantiene a una temperatura nominal de operación de  $-110^{\circ}\text{C}$  (rellenado cada 10 horas). Este CCD es un E2V-4240 de  $2048 \times 2048$  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. La electrónica de este CCD cuenta con un convertidor analógico-digital (ADC) de 16 bits, el cual permite tener cuentas de unidades analógicas a digital (ADU) de 0 a 65535.

En este reporte se presentan los resultados de la caracterización del CCD-M3, 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.

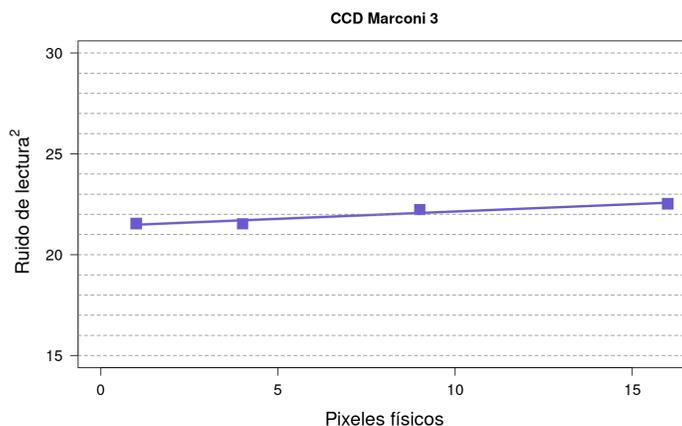
**Tabla 1.** Eficiencia cuántica del CCD-M3.

LONGITUD DE ONDA	EFICIENCIA CUÁNTICA
350 nm	70%
400 nm	90%
500 nm	87%
650 nm	80%
900 nm	57%

### 1.1 Ruido de lectura.

El CCD-M3 tiene una carga espuria de  $0.07 e^-$  y un ruido de lectura intrínseco de  $4.63 e^-$ . En la Tabla 2 se presentan las mediciones de la ganancia y tiempos de lectura de la imagen para los *binning*:  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$  y  $4 \times 4$ . Las secciones en las imágenes donde han sido medidas la ganancia, ruido de lectura y nivel de *bias* son: [818:1218,830:1230] en el *binning*  $1 \times 1$ , [430:630,430:630] en el *binning*  $2 \times 2$ , [280:413:280:413] en el *binning*  $3 \times 3$  y [215:315,215:315] en el *binning*  $4 \times 4$ .

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 2 y fueron medidos dentro de las secciones de la imagen antes mencionadas en cada *binning*. Se encuentra que los valores de la ganancia y ruido de lectura son similares a los reportados en agosto de 2016 [5].



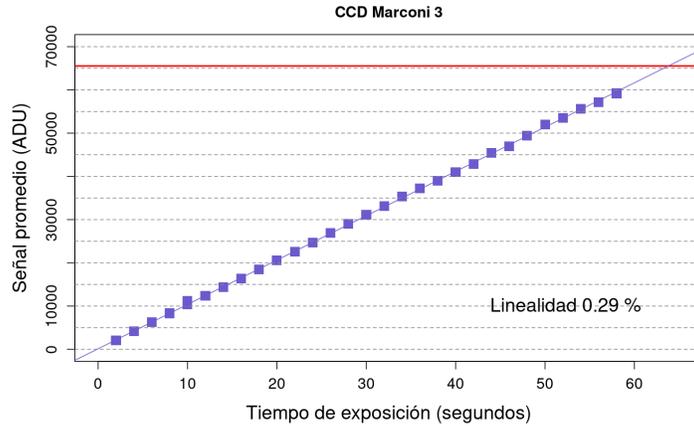
**Figura 1.** Ajuste para determinar la carga espuria generada durante la operación del CCD-M3, basado en las ganancias y ruidos de lectura de la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características electrónicas del CCD-M3.

BINNING	TAMAÑO IMAGEN	GANANCIA	RUIDO DE LECTURA	BIAS	TIEMPO DE LECTURA
1×1	2048×2048	1.81 e-/ADU	5.02 e-	914 ADU	21 s
2×2	1024×1024	1.62 e-/ADU	4.48 e-	643 ADU	10s
3×3	682×682	1.64 e-/ADU	4.61 e-	616 ADU	7 s
4×4	512×512	1.64 e-/ADU	4.63 e-	617 ADU	7 s

## 1.2 Linealidad.

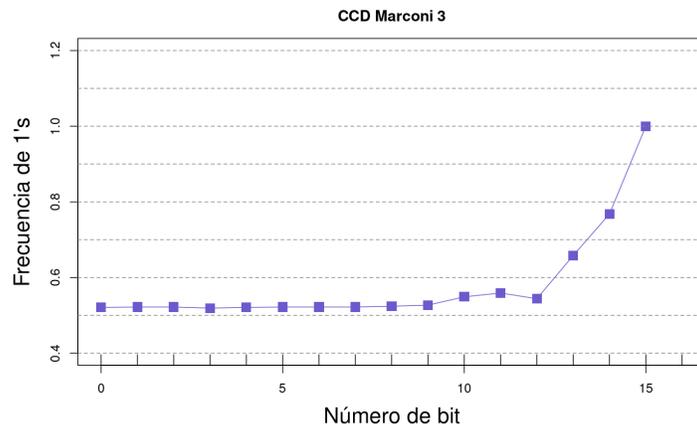
Al hacer un ajuste lineal a las mediciones entre cero y su nivel de saturación se encuentra una no-linealidad menor al 0.29%, por lo tanto, el CCD-M3 puede considerarse un CCD lineal para valores menores a 59,598 ADU. En la Figura 2 se muestra el ajuste lineal realizado.



**Figura 2.** Gráfico de linealidad del CCD-M3. La línea roja indica el límite por debajo del cual el CCD es lineal (65,535 ADU).

### 1.3 Frecuencia de bits.

En la Figura 3 se presenta la frecuencia de bits para el CCD-M3. 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 0.13% del valor de 0.52 para los bits del 0 al 9.



**Figura 3.** Gráfico de la frecuencia de bits del CCD-M3.

### 1.4 Corriente oscura.

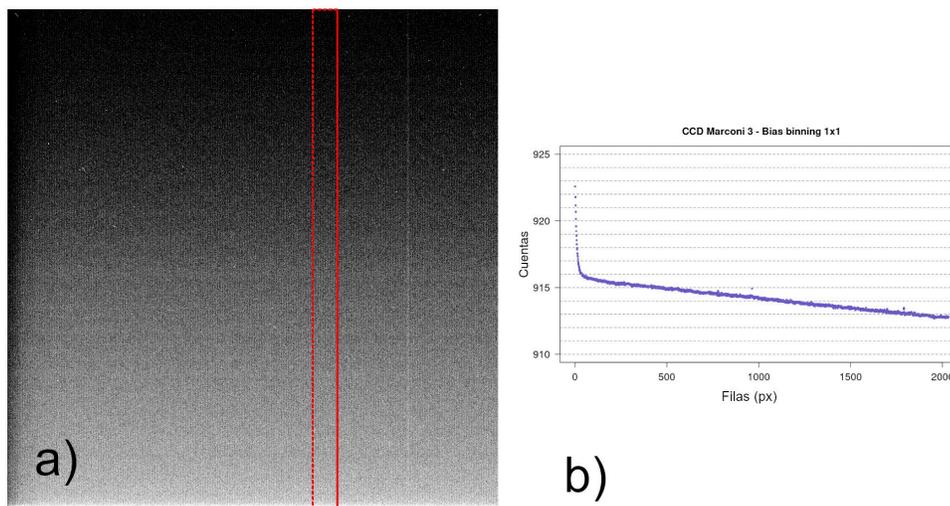
Se obtuvieron imágenes de la corriente oscura (“*darks*”) de 20 minutos con obturador cerrado (@ -110°C) en los *binning* 1×1, 2×2, 3×3 y 4×4. Adicionalmente, se hizo uso de una imagen promedio de *bias* en cada *binning*, la cual se obtuvo de la combinación de las últimas 35 imágenes de *bias* de una secuencia de 60. Lo anterior,

debido a que los primeros 25 *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 8-16 más cuentas que las imágenes de la corriente oscura. Por lo anterior, no fue posible determinar los valores de la corriente oscura de este CCD. Se recomienda al equipo técnico determinar la causa de este defecto.

La corriente oscura esperada para el CCD-M3 es  $<0.1$  e-/px/hr, de acuerdo a la última caracterización realizada a este CCD en el 2016 [5].

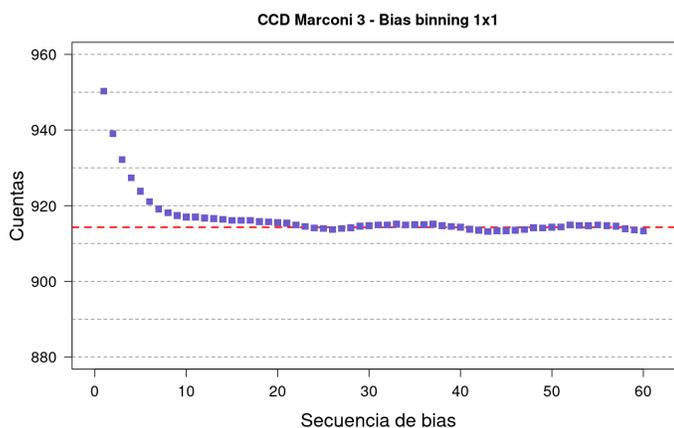
## 2. IMAGEN CERO Y CAMPOS PLANOS

En la Figura 4a se muestra la imagen de *bias* promedio o imagen cero formada a partir de 35 imágenes en *binning* 1×1 (eliminando las primeras 25 imágenes de una secuencia de 60). La imagen cero no presenta patrón alguno de interferencia producido por la electrónica, pero si un gradiente vertical de 8 cuentas en las primeras 5 filas y un gradiente menos pronunciado de 4 cuentas en el resto de las filas (véase Fig. 4b). 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 substracción de la imagen *bias* promedio.



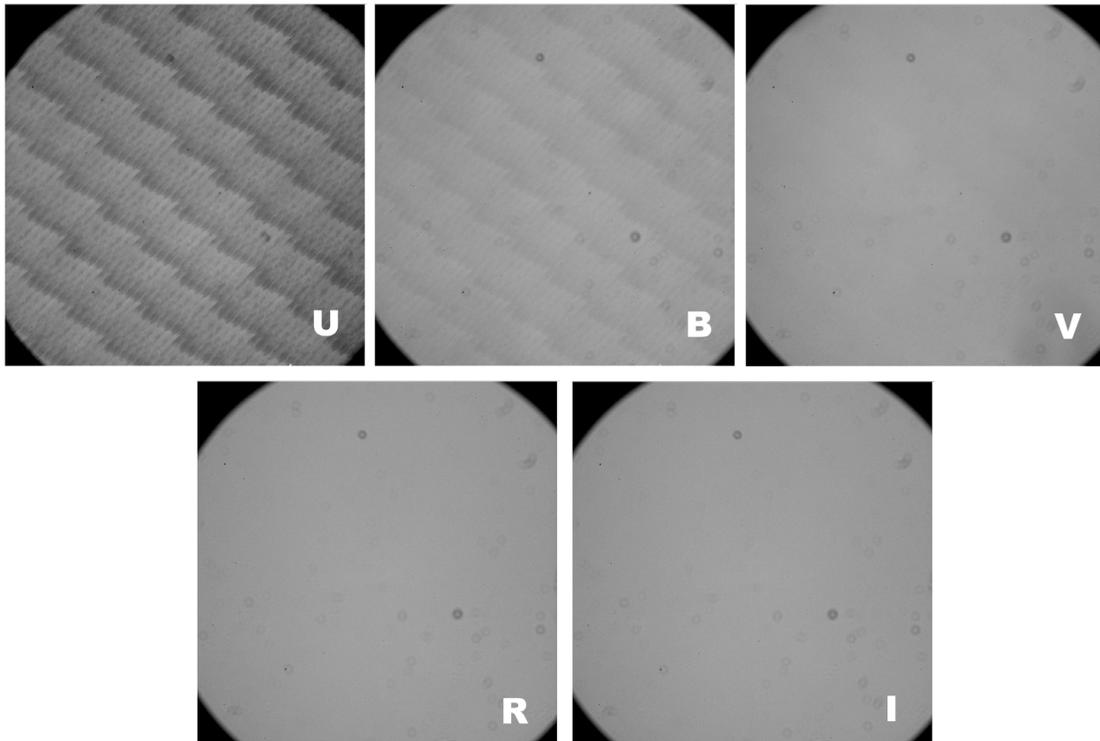
**Figura 4.** a) Imagen *bias* promedio en *binning* 1×1 del CCD-M3, donde se puede observar que los *bias* con este CCD presentan un gradiente vertical a lo largo de filas de la imagen y b) gráfico donde se muestran las cuentas promedio en función de las filas de la imagen cero.

Por otro lado, al tomar una secuencia de 60 imágenes de *bias* y medir el valor promedio en una caja de 300×300px centrada la imagen correspondiente, se encuentra que las primeras 25 imágenes de la secuencia presentan valores ligeramente mayores que el resto. En la Figura 5 se presenta un gráfico que muestra este comportamiento. Este efecto ya ha sido observado también en las imágenes de *bias* del CCD-M2 [6], independientemente del *binning* que se utilice. Se recomienda al usuario adquirir una secuencia de 50 imágenes de *bias* y utilizar solamente las últimas 25 imágenes de la secuencia.



**Figura 5.** Valor promedio de las cuentas de cada imagen de *bias* para una secuencia de 60 imágenes.

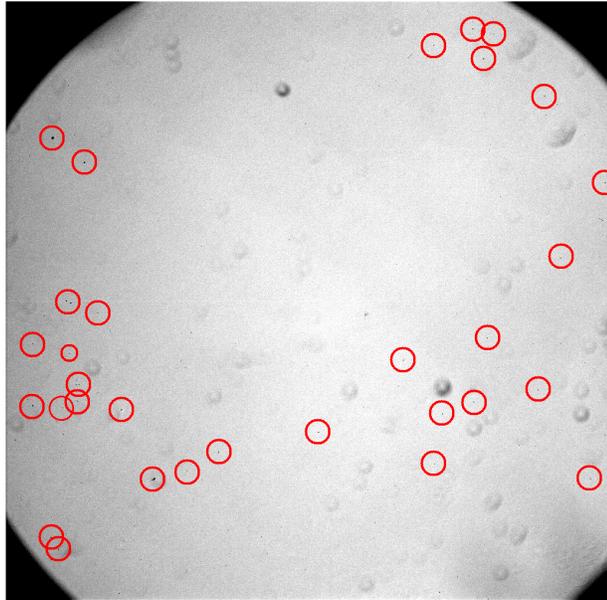
En la Figura 6 se muestran las imágenes de campos planos de domo en los filtros de Johnson-Cousins U, B, V, R e I de la rueda de filtros RUCA-2, con el fin de ilustrar su apariencia visual usando el CCD-M3. En esta figura se puede apreciar zonas oscuras tipo “dona” relativamente pequeñas que se aprecian en todos los filtros, las cuales son debidas a partículas de polvo en ventana del criostato. 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 RUCA-2. Las estructuras tipo “donas” visibles en todas las imágenes son motas de polvo en la ventana del criostato.

### 3. PIXELES OSCUROS.

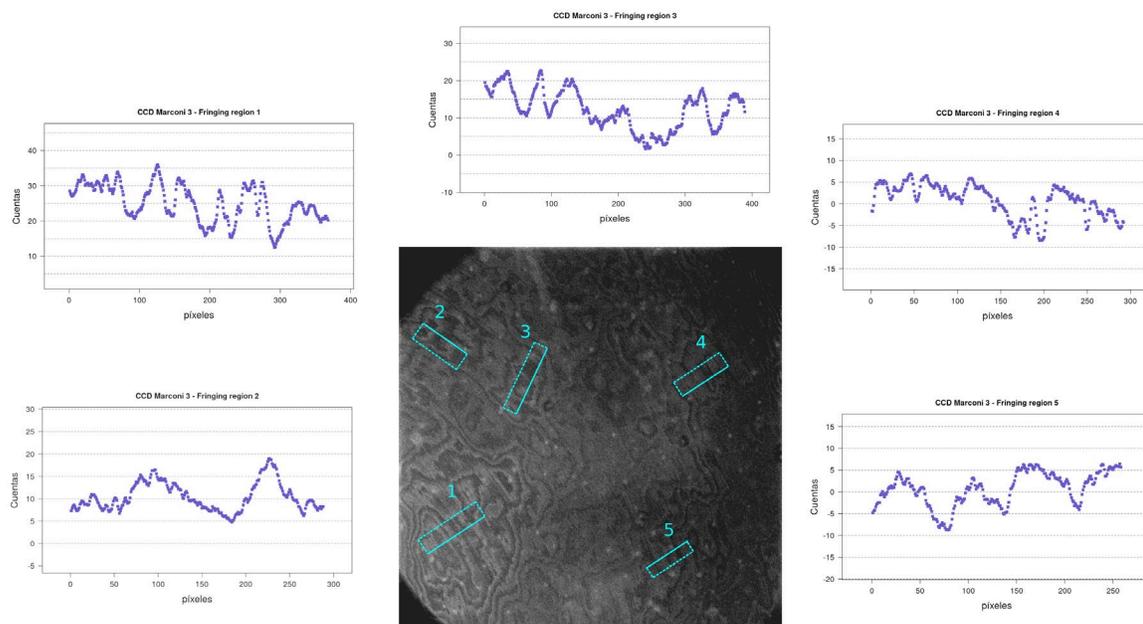
Con el fin de identificar pixeles oscuros, aquellos con una menor respuesta a la luz que los pixeles a su alrededor, se obtuvieron 20 imágenes de campos planos de domo de bajas cuentas ( $\sim 2000-3000$  ADU) en *binning*  $1 \times 1$  y se combinaron con una mediana. Al inspeccionar la imagen resultante 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 ( $\Delta$ cuentas) entre la periferia y estos pixeles está entre las 5 y 150 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 31 zonas con el CCD-M3 con pixeles oscuros.

#### 4. FRANJAS DE INTERFERENCIA

En la Figura 8 se muestra el patrón de franjas de interferencia y su amplitud encontrada en el CCD-M3. Este patrón de franjas fue obtenido mediante la combinación de 3 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-M3 puede variar hasta 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 su amplitud en cinco regiones de la imagen para el CCD-M3. La medición de la amplitud de las franjas se hizo dentro de una sección rectangular de anchos 20 a 80px.

## 5. CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización de la cámara con el CCD-M3 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-M3 presenta valores de la ganancia, ruido de lectura y nivel del bias similares a los reportados en el 2016 [5]. Por otro lado, las imágenes de la corriente oscura presentan menos cuentas comparados con la imagen cero, lo cual no es un comportamiento normal para un CCD. Por lo anterior, no fue posible medir el valor de la corriente oscura.

Adicionalmente, se presentaron imágenes de campos planos en los diferentes filtros, la imagen de pixeles oscuros y la imagen del patrón de franjas de interferencia en el filtro I, con la intención de que sean de utilidad para el usuario de este CCD. A partir de los resultados de esta caracterización podemos concluir que el CCD-M3 sigue operando adecuadamente. En el presente documento se mencionan algunas recomendaciones para el usuario como: 1) para crear la imagen cero promedio se debe tomar una secuencia de 50 bias y utilizar solo los 25 últimos bias de la secuencia, 2) evitar colocar el objeto de interés en las posiciones señaladas de pixeles oscuros y

3) en caso de realizar observaciones con el filtro I, adquirir al menos tres imágenes de un campo vacío en este filtro y crear una imagen del *fringing*, para remover este patrón de interferencia de las imágenes en dicho filtro. Considerando lo anterior, este documento puede ser utilizado, tanto para la planeación de las observaciones, como para la reducción y calibración de los datos.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece J. Herrera, J. Hernández, F. Valenzuela, F. Quirós y T. Calvario por la instalación y preparación del CCD-M3 para su caracterización, en especial a F. Guillén por su apoyo en el relleno de nitrógeno de la botella criogénica de la cámara.

## REFERENCIAS

- [1] Especificaciones de fábrica de la cámara CCD Marconi 3 ([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] Fox Machado, L. (2016). *Reporte de características del CCD Marconi 3* ([véase aquí](#)).
- [6] Plauchu-Frayn, I & Díaz Santos, R. Estado actual y caracterización de la cámara CCD Marconi 2 del OAN-SPM. PTI-OAN: 0023 ([véase aquí](#))