

Manual de Usuario del Instrumento OPTICAM

A. Castro, I. Zavala, E. Colorado, C. Tejada, R. Michel, G. Sierra, J. Herrera, I. Plauchu-Frayn, J. Hernández-Landa, B. García, B. Martínez, G. Guisa, L. Ortiz, F. J. Valenzuela, T. Verdugo

Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México.
 Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B. C., México.

RESUMEN:

Este documento detalla los aspectos fundamentales del funcionamiento y la operación del instrumento OPTICAM, instalado en el telescopio de 2.1 m del Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir (OAN-SPM). OPTICAM es un sistema óptico de alta resolución temporal que permite realizar fotometría rápida en tres canales de manera simultánea, utilizando tres de los filtros SDSS u' , g' , r' , i' , z' instalados. A lo largo del documento se

describen las características técnicas del instrumento, así como los pasos necesarios para inicializar y operar el programa de control de adquisición de imágenes y su interfaz gráfica de usuario, desde la cual se configura la observación. Además, este manual proporciona instrucciones para garantizar el óptimo funcionamiento del instrumento, así como para la adquisición de datos y su respaldo en disco duro.

Contenido

1. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO	2
2. OBSERVANDO CON OPTICAM	6
3. EJECUCIÓN DE LOS PROGRAMAS “CONTROL DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES” Y DE LA GUI	11
4. INICIALIZACIÓN DE LAS CÁMARAS	13
5. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LA GUI	14
6. VISUALIZACIÓN CON SAO-DS9	18
7. REINICIO DE LA PC DE OPTICAM DESDE SONAJA	19
8. APAGADO DE LA PC DE OPTICAM DESDE SONAJA	19
9. INTERCAMBIADOR MANUAL DE FILTROS	20
10. ENFRIAMIENTO TERMOELÉCTRICO (MODELO REFRIGERADO POR AIRE)	22
11. ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA DE DATOS	22
11.1. ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA	22
11.2. PROCESO DE RESPALDO DE DATOS (MARZO 24, 2025)	23
11.2.1. Respaldo de imágenes desde MUFFIN hacia el NAS-OPTICAM	23

11.2.2. Respaldo desde el NAS-OPTICAM hacia un disco o memoria portátil tipo USB 3.0	24
11.2.3. Respaldo de datos en servidor externo desde la PC del usuario	25
12. CABLE USB 3.0 DE LA CÁMARA ANDOR ZYLA 4.2-PLUS-----	26
13. GUÍA RÁPIDA PARA NOCHES DE INGENIERÍA -----	27
14. CIENCIA CON OPTICAM -----	29
15. AGRADECIMIENTOS -----	30
16. BIBLIOGRAFÍA -----	30

1. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO

OPTICAM es un sistema óptico de alta velocidad diseñado para realizar fotometría rápida de tres canales de forma simultánea [1]. Su aspecto se aprecia en la *Figura 1*. OPTICAM cuenta con un conjunto propio de filtros Astrodon Gen2 SDSS $u'g'r'i'z'$ que permite una cobertura en el rango de longitud de onda de $320 \text{ nm} < \lambda < 1100 \text{ nm}$, cuyas curvas de transmisión se muestran en la *Figura 3* (izquierda). OPTICAM se monta en el foco *Cassegrain* del telescopio de 2.1 m del Observatorio Astronómico Nacional San Pedro Mártir (OAN-SPM) en Ensenada, B.C., México.

El haz de luz procedente del telescopio es dividido en tres haces diferentes utilizando un par de dicroicos (D1 y D2) construidos específicamente para este propósito. En la *Figura 2* se muestra la ubicación de los dicroicos en el sistema óptico y el trazado de rayos asociado al diseño óptico del instrumento. Un haz se dedica a los filtros u' o g' , mientras que el segundo haz se dedica al filtro r' y el tercero a los filtros i' o z' . Las curvas de transmisión de los dicroicos se muestran en la *Figura 4* (izquierda). Las combinaciones de filtros se seleccionan utilizando un intercambiador de filtros manual disponible en cada brazo del sistema óptico y la adquisición de imágenes se realiza mediante el uso

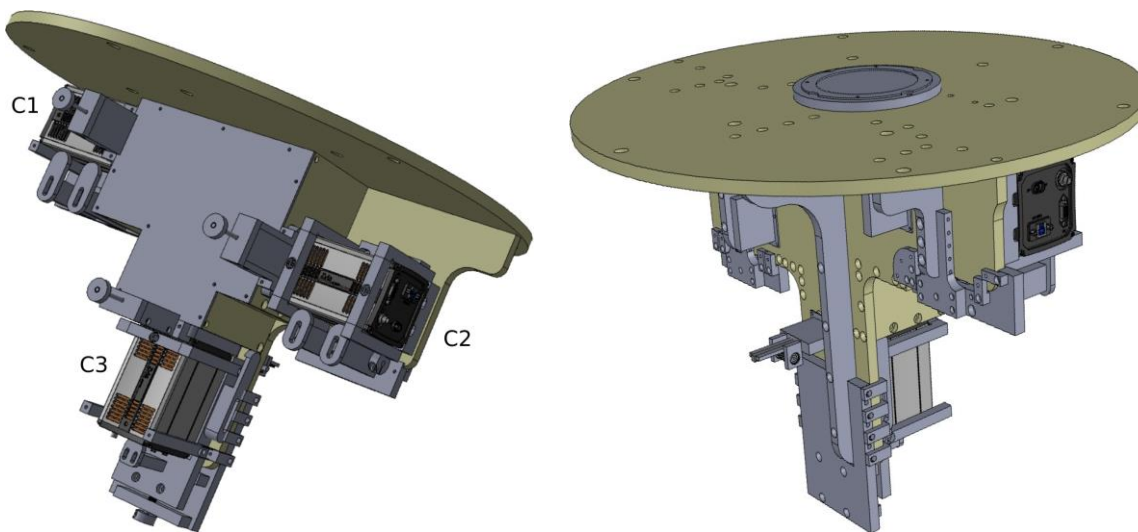


Figura 1: Representación gráfica tridimensional generada con el software CAD SolidWorks del instrumento OPTICAM. **Izquierda:** Vista frontal del instrumento. En esta perspectiva es posible observar las tres cámaras Andor Zyla 4.2-P empleadas en el instrumento (C1, C2 y C3). Los elementos ópticos del sistema se encuentran contenidos dentro de la sección central del mecanismo. **Derecha:** Vista posterior del instrumento. En esta perspectiva se aprecian las varillas de refuerzo estructural. En la parte superior se aprecia la ventana de entrada del sistema óptico. Crédito de las

de tres modernos detectores astronómicos Andor Zyla 4.2-P de 2048 x 2048 píxeles, las cuales observan la misma porción del cielo de tamaño aproximado 5×5 arcmin². En este documento, estos detectores Andor Zyla se denominan “cámaras ópticas” CO1, CO2 y CO3, como se muestra en la *Figura 2*. Los tamaños exactos de los campos de visión (FoV, por sus siglas en inglés) de cada cámara se presentan en la *Tabla 1*.

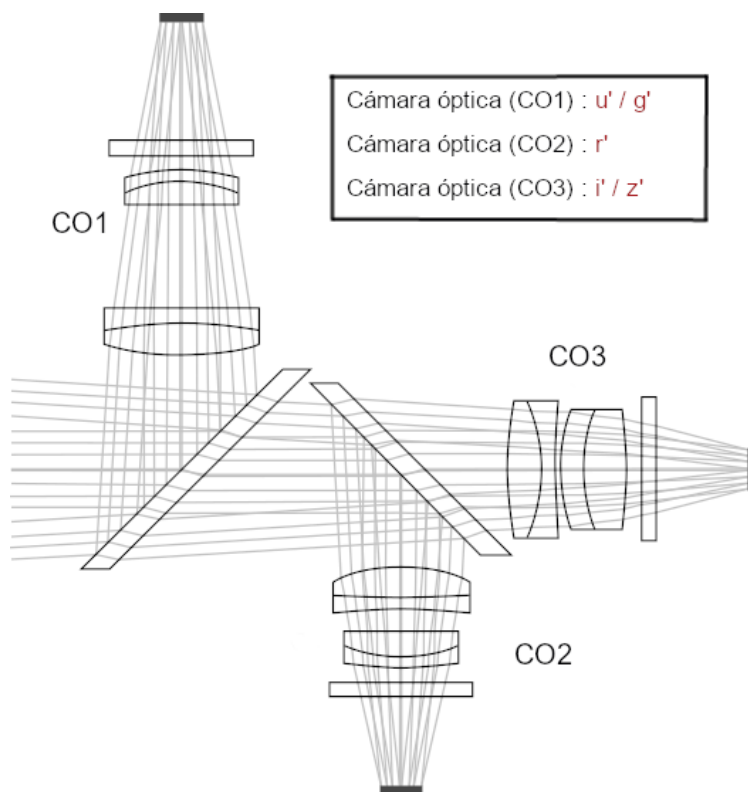


Figura 2: Trazo de rayos del diseño óptico de OPTICAM. Mediante el uso de 2 dicróicos, el instrumento permite la observación de objetos astrofísicos de manera completamente simultánea a través de sus 3 cámaras ópticas. La luz finalmente incide sobre los respectivos detectores astronómicos CO1, CO2 y CO3 ubicados en el extremo de cada brazo. Crédito de la imagen: Carlos Tejada & Joel Herrera.

En la *Tabla 2* se muestran las especificaciones técnicas generales de las cámaras Andor Zyla 4.2-P USB 3.0 y en la *Tabla 3* las pruebas de desempeño particulares de las tres cámaras científicas utilizadas en OPTICAM. En la *Figura 3* (derecha) se presenta la curva de eficiencia cuántica (QE) del detector de las cámaras. La curva de transferencia total del instrumento (*throughput*), tomando en cuenta los efectos del detector, los filtros, los dicróicos, el conjunto de lentes, así como los espejos primario y secundario del telescopio de 2.1 m, se muestra en la *Figura 4* (derecha). Finalmente, un módulo de sincronización externa permite a las tres cámaras del sistema adquirir imágenes astronómicas de manera simultánea en tres canales ópticos. La lectura de imágenes astronómicas de las tres cámaras es controlada por un programa de adquisición de imágenes y una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) para su monitoreo, ambos desarrollados específicamente para este proyecto. El diseño original del sistema óptico de OPTICAM fue presentado en [2], mientras que las diversas pruebas ópticas realizadas se describen en [3].

OPTICAM ha sido construido como un trabajo colaborativo entre el Departamento de Instrumentación del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México (IAUNAM; PI R. Michel), el Grupo de Astronomía de la Universidad de Southampton (UoS; PI D. Altamirano) y los Observatorios Astronómicos Nacionales de la Academia de Ciencias China (NAOC;

PI J. Liu). OPTICAM es capaz de obtener imágenes estrictamente simultáneas, lo que significa que las imágenes se adquieren exactamente al mismo tiempo mediante el uso de una tarjeta sincronizadora de alta precisión y una programación orientada a objetos dedicada. Cada encabezado de imagen tendrá una marca de tiempo utilizando este módulo de sincronización dedicado, el cual está equipado con dispositivo GPS/GNSS. OPTICAM nominalmente permitirá realizar exposiciones de imágenes en el intervalo de sub-segundos. Sin embargo, se pueden lograr velocidades de lectura más altas dependiendo de la matriz de píxeles y la configuración de agrupación de píxeles (i.e. *binning*).

TABLA 1

Field-of-view (FoV) de OPTICAM en el telescopio de 2.1 m.

Brazo	Cámara	Filtro			FoV (arcmin ²)	Escala de Placa ("/pix)	
		Pos1	Pos2	Pos3		Binning 1×1	Binning 2×2
1	C1	<i>u</i>	<i>g</i>	---	4.77×4.77	0.1397	0.2794
2	C2	<i>r</i>	---	---	4.80×4.80	0.1406	0.2812
3	C3	<i>i</i>	<i>z</i>	---	5.67×5.67	0.1661	0.3322

Debe notarse que las escalas de placa no son exactamente iguales para las tres cámaras. Los filtros son seleccionables de manera manual y colocados en las posiciones respectivas, según se describe en la Sección 9.

OPTICAM es un paso adelante hacia una nueva generación de instrumentos con alta resolución temporal, que permiten el estudio de fenómenos astrofísicos muy rápidos que ocurren en el rango de milisegundos y segundos, un intervalo que antes no se podía abordar con las técnicas fotométricas CCD tradicionales (debido, en gran parte, a los grandes tiempos muertos asociados a la lectura de dichos detectores). OPTICAM puede ser empleado para observar una gran variedad de fuentes astrofísicas transitorias o variables (e.g. contraparte visible de estrellas binarias en rayos X, variables cataclísmicas, binarias eclipsantes, ocultaciones estelares, *flaring stars*).

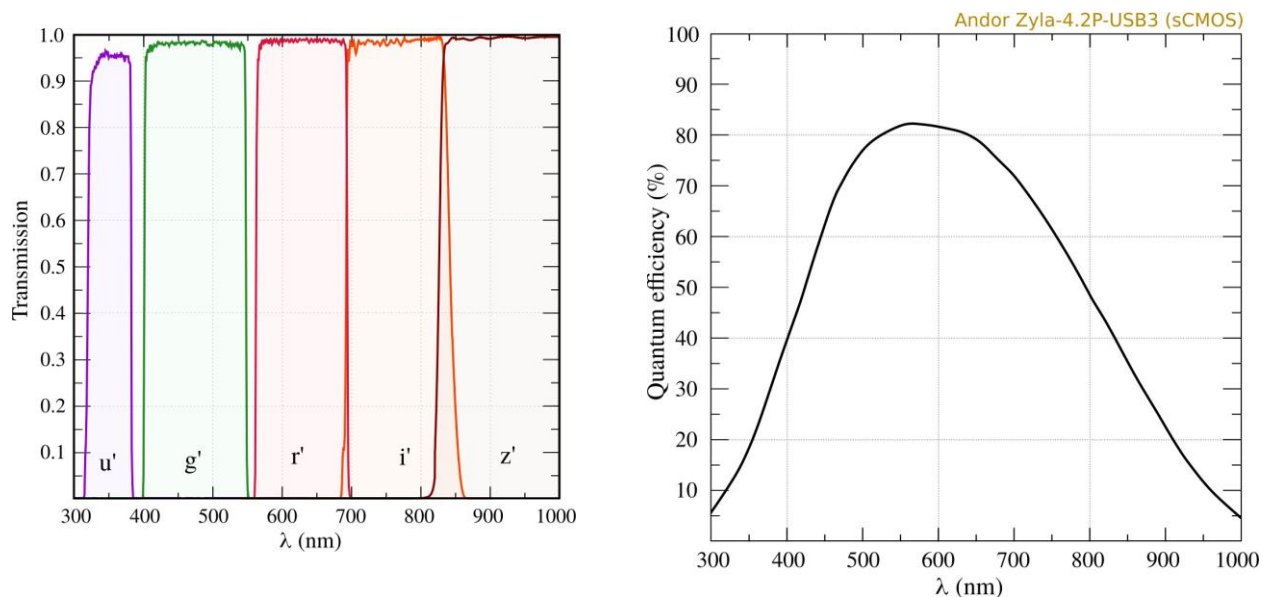


Figura 3: *Izquierda:* Transmisión del juego de filtros Astrodon Gen2 SDSS. *Derecha:* Eficiencia cuántica del detector de la cámara Andor Zyla 4.2-P.

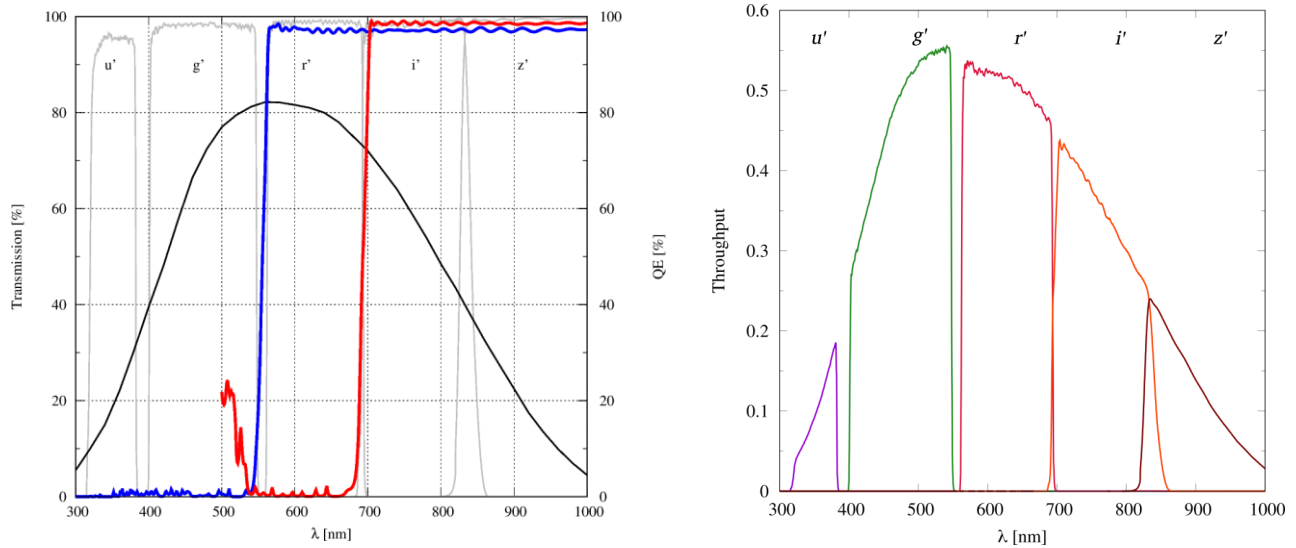


Figura 4: *Izquierda:* Curvas de transmisión del dicroico D1 (línea color azul) y el dicroico D2 (línea color rojo), superpuestas sobre la eficiencia cuántica (QE; línea continua color negro) del detector de la cámara Andor Zyla 4.2-Plus USB 3.0 y las transmisiones de los filtros SDSS (líneas color gris) mostradas para las respectivas bandas. Se puede apreciar que D1 es capaz de reflejar las bandas de longitud de onda asociadas a los filtros u' + g' hacia el brazo 1 del instrumento, mientras que transmite poco más del 95 % en las bandas r' + i' + z' . Este porcentaje transmitido por D1 incide sobre D2, y es nuevamente dividido en dos nuevas bandas (r' y $i'+z'$), las cuales se conducen hacia los brazos 2 y 3, respectivamente. **Derecha:** Transmisión total del instrumento OPTICAM para cada una de las bandas ópticas disponibles.

TABLA 2

Especificaciones técnicas de las cámaras Andor Zyla 4.2-P. USB 3.0¹

<i>Sensor type</i>	Front Illuminated Scientific CMOS	<i>Readout modes</i>	Rolling-Shutter
<i>Active pixels (W × H)</i>	2,048 x 2,048 (4.2 Megapixel)	<i>Maximum dynamic range</i>	33,000:1
<i>Pixel size</i>	6.5 μm	<i>Pixel binning</i>	Hardware binning: 2×2, 3×3, 4×4, 8×8
<i>Sensor size</i>	13.3 x 13.3 mm	<i>Data range</i>	16-bit & 12-bits
<i>Pixel readout rate (MHz)</i>	Slow Read 216 (108 MHz x 2 sensor halves) Fast read 540 (270 MHz x 2 sensor halves)	<i>Interface options</i>	USB 3.0
<i>Read noise (e⁻) median [rms]</i>	0.90 [1.1] @ 216 MHz 1.10 [1.3] @ 540 MHz	<i>Hardware time-stamp accuracy</i>	FPGA generated timestamp with 25ns accuracy
<i>Maximum QE</i>	82 %	<i>Linearity</i>	>99.8 %
<i>Sensor Operating Temperature</i>	0 °C (up to 27 °C ambient)	<i>Normal operating temperature</i>	-0.44 C @ Air Cooled
<i>Dark current, e⁻/pixel/sec @ min temp</i>	0.10 @ Air Cooled	<i>Maximum exposure time</i>	30 s

En la configuración actual, el tiempo mínimo de exposición para el software de control de OPTICAM es de 0.01 segundos. Debido a que se emplea un ventilador como agente de ventilación activa, la temperatura operativa del detector puede variar como función de la temperatura ambiente. OPTICAM emplea el modo de lectura rápido de 270 MHz.

¹ <https://andor.oxinst.jp/assets/uploads/documents/andor-zyla-scmos-oem-specifications.pdf>

TABLA 3

Especificaciones técnicas de cada una de las tres cámaras científicas Andor Zyla 4.2-Plus USB 3.0 utilizadas en OPTICAM

Camera	Serial number	System readout rate	CMOS sensitivity (e^- per ADU)	Median read noise (e^- RMS)	Median dark current (e^- /pix/s)	Pixel size Pixel size (μ m)	Bit resolution
C1	VSC-05535	540 MHz	0.51	1.33	0.0986	6.5	16
C2	VSC-05530	540 MHz	0.52	1.38	0.0992	6.5	16
C3	VSC-05522	540 MHz	0.53	1.35	0.1010	6.5	16

La configuración de ganancia está ajustada en todos los casos a "Low noise & high well capacity". Los parámetros de velocidad de lectura del sistema y resolución en bits pueden configurarse mediante software; sin embargo, en OPTICAM se han establecido en sus valores predeterminados. Tabla tomada de [5].

2. OBSERVANDO CON OPTICAM

En esta sección se enumeran los procesos básicos para llevar a cabo observaciones con el instrumento OPTICAM. Para los fines del presente documento, se considerará como usuarios al observador responsable de la temporada, al electrónico, al personal de cómputo y al astrónomo de soporte en turno. Se considera también que el instrumento se encuentra ya montado sobre la platina del telescopio y que todos los pasos del "Procedimiento de instalación del instrumento OPTICAM en el telescopio de 2.1 m" [4] han sido debidamente completados. Adicionalmente, se recomienda que las cámaras Andor Zyla 4.2-Plus hayan alcanzado una temperatura estabilizada en torno a -0.4°C antes de empezar a adquirir imágenes, lo cual puede tardar entre 2 y 10 minutos.

- 1. Encendido de la PC de OPTICAM y reinicio del módulo de temporización externo.** La PC de OPTICAM está instalada junto a la platina del telescopio de 2.1 m (véase *Figura 5 (izquierda)*). Para encender esta PC se debe presionar el botón de encendido en su parte frontal. Posteriormente, se debe presionar el botón de reinicio del módulo de temporización externo, el cual es un pequeño botón rojo (véase *Figura 5 (derecha)*).

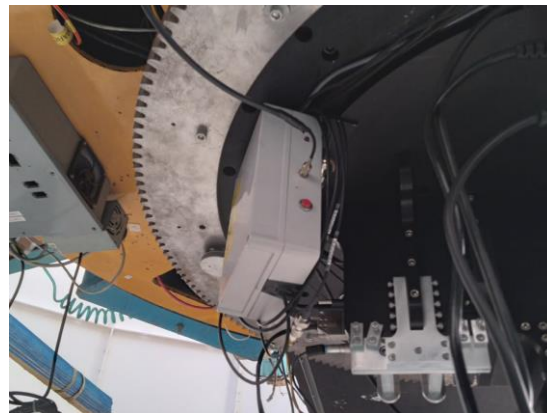


Figura 5: *Izquierda:* PC de OPTICAM (denominada Muffin) y su ubicación junto a la platina del telescopio. *Derecha:* Módulo de temporización externo de OPTICAM.

- 2. Encendido de las cámaras.** Debido a que las cámaras Andor Zyla 4.2-P cuentan con un interruptor mecánico, éstas deben ser encendidas por el observador antes de iniciar la noche de observación. Así mismo, al finalizar la noche de observación deberá asegurarse de apagar cada una de ellas. El procedimiento debe hacerse de forma manual en el piso del telescopio, desplazando el interruptor ON/OFF de cada cámara. En la *Figura 6* se muestra la ubicación de este interruptor con la etiqueta 'ON/OFF switch'.

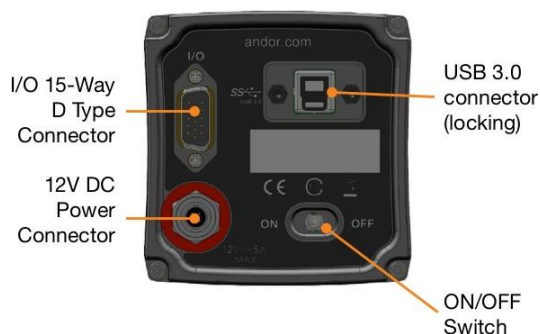


Figura 6: Vista anterior de la cámara Andor Zyla 4.2-P USB3.0. La cámara cuenta con un interruptor mecánico que debe ser desplazado a la posición de encendido (ON) al principio de la noche de observación y a la posición (OFF) de apagado al final de la noche de observación.

3. **Lanzamiento de interfaz VNC.** OPTICAM opera de manera remota desde la PC *Sonaja* del cuarto de observación del telescopio de 2.1 m del OAN-SPM. Para arrancar la interfaz remota, presione el ícono nombrado “Opticam” en la carpeta de INSTRUMENTOS de la computadora *Sonaja*. La IP asociada a OPTICAM es 192.168.0.35 y deberá ser reconocida de manera automática al arrancar la aplicación. En caso de problemas de conectividad con el VNC, solicitar apoyo técnico. Una vez que se haya conectado y se encuentre desplegado el ‘Desktop’.
4. **Ejecución del programa de control de adquisición de imágenes y la interfaz gráfica del usuario (GUI).** Una vez que la PC de OPTICAM se encuentra encendida y de que haya establecido conexión vía VNC con la PC *Muffin*, deberá ejecutar los programas de OPTICAM. Para ello, es necesario abrir dos terminales. Primero, abrir una terminal para arrancar el programa de control de adquisición de imágenes (ver *Figura 7*), mediante la instrucción **opticam_init**:

```
(opticam) 192.168.0.35 – Konsole – Ventana 1: Ejecución de control de adquisición

observa@sonaja:~$
opticam@muffin:~$ opticam_init
```

Figura 7: Ventana de ejecución del programa de adquisición de imágenes de OPTICAM. El programa se inicia al ejecutar el alias “*opticam_init*” directamente en la terminal.

Y segundo, abrir otra terminal (ver *Figura 8*) para la abrir la GUI (ver *Figura 9*) con la instrucción **opticam_gui**:

```
(opticam) 192.168.0.35 – Konsole – Ventana 1: Ejecución de control de adquisición

observa@sonaja:~$
opticam@muffin:~$ opticam_gui
```

Figura 8: Ventana de ejecución de la GUI de OPTICAM en una segunda terminal mediante la ejecución del alias “*opticam_gui*”. Una vez abierta la GUI, el usuario deberá establecer comunicación con las cámaras y esperar uno minutos para que las cámaras alcancen la temperatura de operación.

Se recomienda mantener estas dos terminales en primer plano para el monitoreo de potenciales mensajes de error del software. En la *Figura 11* de la Sección 5 se muestra una descripción detallada de la GUI, en la cual se describe cada uno de los campos disponibles.

El proceso de conexión a la PC de OPTICAM y la ejecución de los programas se describe en la Sección 3. Cuando el programa de control de adquisición de imágenes haya iniciado, se mostrará un mensaje indicando que se encuentra listo para recibir instrucciones. Si la GUI arranca sin mostrar errores de conexión, se considerará que se encuentra lista.

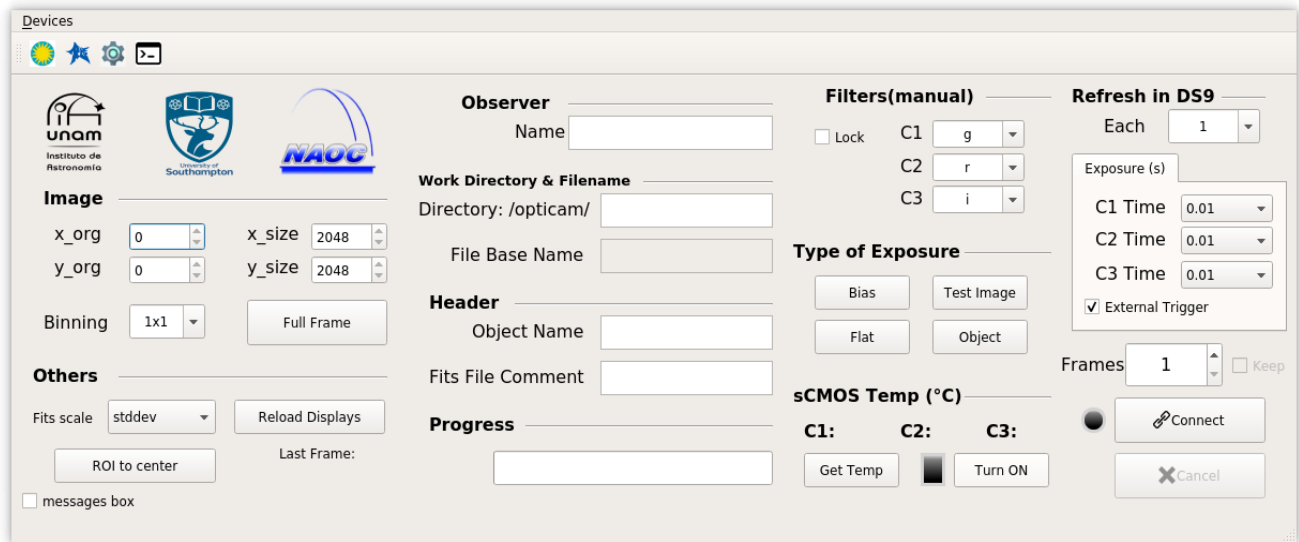


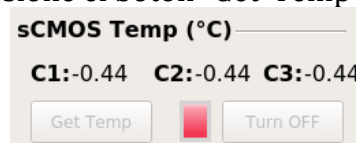
Figura 9: Aspecto de la interfaz gráfica de usuario (GUI) de OPTICAM una vez iniciada, la cual muestra solamente los valores y parámetros predeterminados.

5. Inicio de las cámaras. Antes de iniciar la adquisición de imágenes, debe establecerse comunicación con cada una de las cámaras del sistema OPTICAM (véase Sección 4). No será posible adquirir imágenes astronómicas si este paso no ha sido exitosamente completado. Para establecer comunicación con las cámaras pulse el siguiente botón en la GUI:



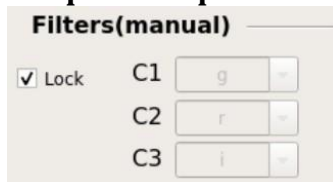
Debido a que el software actual es una versión de desarrollo, el observador deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- **Verificar que las tres cámaras han establecido comunicación.** Esto se verifica en la terminal donde ha sido ejecutado el software de control de adquisición, a partir de la tabla de salida mostrada durante el proceso de inicialización de las cámaras (véase Sección 4). En dicha tabla los valores del parámetro “camera status” deberán indicar un valor de “1” para C1, C2 y C3, respectivamente.
- **Verificar que el enfriamiento activo se encuentra en operación.** Para actualizar los valores de temperatura presione el botón “Get Temp” de la GUI:

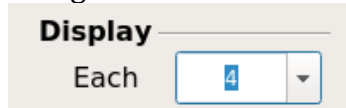


6. Ingreso de los parámetros de observación en la GUI. Se deberán especificar los nombres del observador y colaboradores, así como la configuración de parámetros: valor apropiado de

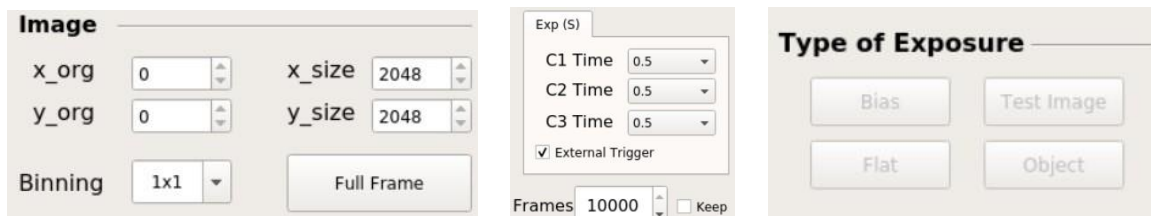
binning, tiempo de exposición, número de *frames*, tipo de imagen a ser adquirida y tasa de despliegue de imágenes en la GUI. En la Sección 5 se describe con detalle la función de los diferentes botones y campos de la GUI. **El tiempo de exposición máximo de las cámaras Andor Zyla 4.2-P USB3.0 es de 30 segundos.** El tiempo de exposición mínimo disponible actualmente es de 0.01 segundos. Para mayores detalles se recomienda consultar la guía de *hardware* del proveedor. Aunque es posible adquirir imágenes con diferentes tiempos de exposición para cada cámara, en la actual versión de desarrollo del software **es necesario especificar el mismo tiempo de exposición para las tres cámaras.**



- 7. Verificación de los filtros especificados en la GUI y su coincidencia con la configuración mecánica utilizada.** El proceso de colocación de filtros se describe en la Sección 9. **Debido a que los filtros son colocados de forma manual, se recomienda que el usuario verifique que la configuración seleccionada en el GUI sea la apropiada.** La combinación de filtros *g',r',i'* se carga de forma predefinida cada vez que se inicia la GUI. Por lo tanto, si cierra la interfaz, deberá volver a indicar la configuración de filtros utilizada en caso de ser diferente a la predefinida. Esto se hace en la siguiente sección de la GUI:



- 8. Verificación de la tasa de despliegue de imágenes del visualizador de imágenes de la GUI** con respecto a la tasa de adquisición de imágenes de la secuencia particular. Cuando se trabaja con tasas de adquisición altas, es importante evitar refrescar las imágenes demasiado seguido, ya que esto puede ralentizar el sistema y dificultar el uso de las interfaces gráficas. Para altas tasas de adquisición ($t_{exp} < 1$ s), se recomienda establecer la tasa máxima de refresco en aproximadamente una vez por segundo, es decir, el inverso del tiempo de adquisición. Por ejemplo, si el tiempo de exposición es de 0.1 s, desplegar imágenes al menos cada 10 *frames*. Más detalles se encuentran en la Sección 6. Durante el apuntado del telescopio, se sugiere adquirir imágenes individuales y visualizarlas cuadro por cuadro hasta definir la configuración final de observación.
- 9. Adquisición de imágenes en triple canal.** Presionando el botón “Object” se guardarán las imágenes en el directorio especificado en “Work Directory & Filename”. En el caso de que las imágenes deseadas sean campos planos, deberá pulsarse el botón “Flat”. La trayectoria raíz para el resguardo de las imágenes es: /home/opticam/images/opticam/. Por otro lado, para guardar las imágenes en un subdirectorío específico ingrese el nombre de dicho subdirectorío en el campo apropiado. Antes de iniciar la secuencia de objetos verifique que los parámetros básicos de observación han sido debidamente indicados:



10. Visualización de las imágenes en SAO-DS9. Ya sea que se trate de imágenes de prueba, de objetos, o de campos planos, estos pueden ser visualizados mediante el uso de la aplicación SAO-DS9 (para más detalles véase Sección 6). La ventana de SAO-DS9 se hará visible al pulsar el ícono respectivo en la esquina superior izquierda de la GUI:



Las imágenes se actualizarán en la ventana de SAO-DS9 (véase Sección 6) de acuerdo a la tasa de despliegue especificada. Sin embargo, las imágenes mostradas pueden ser también actualizadas en cualquier momento al presionar el botón “Reload display” en la GUI.

11. Apagado de las cámaras. Debido a que las cámaras cuentan con un interruptor mecánico, al iniciar la noche de observación, el observador deberá asegurarse que las cámaras Andor Zyla 4.2-P se encuentran encendidas y, al finalizar la observación, deberá apagarlas (véase Paso 2).

12. Revisión del espacio en disco. Abrir una tercera terminal y revisar el espacio disponible en disco tecleando “**df -h /images**” para verificar el espacio disponible en el disco de datos de la PC *Muffin*. El usuario puede emplear esta misma terminal para visualizar la lista de archivos generados durante sus observaciones, en caso de ser necesario.

En la *Figura 10* se muestra un ejemplo la GUI durante una observación nominal, una vez que se encuentra adquiriendo imágenes luego de haber seguido los pasos indicados en la presente sección.

Debido a la presencia de un cuello de botella identificado durante la escritura de archivos en disco con la presente versión del programa de control, se sugiere realizar observaciones empleando tiempos de exposición (t_{exp}) en la banda $1 \leq t_{exp}(s) \leq 30$ en **secuencias de hasta 9,999 exposiciones continuas**. Todas las opciones de *binning* presentes en el menú respectivo de la GUI se encuentran disponibles. **No use la opción ‘keep’ de la GUI.** Nos encontramos actualmente trabajando en una nueva versión del software de control, la cual empleará una actualización del equipo de cómputo, con la cual podrán obtenerse observaciones de alta cadencia temporal en el intervalo sub-segundos de manera sostenida.



Se recomienda suspender las observaciones de forma inmediata cuando la temperatura ambiente en el piso del telescopio sea menor a los 0°C o la humedad relativa sea mayor al 80%.

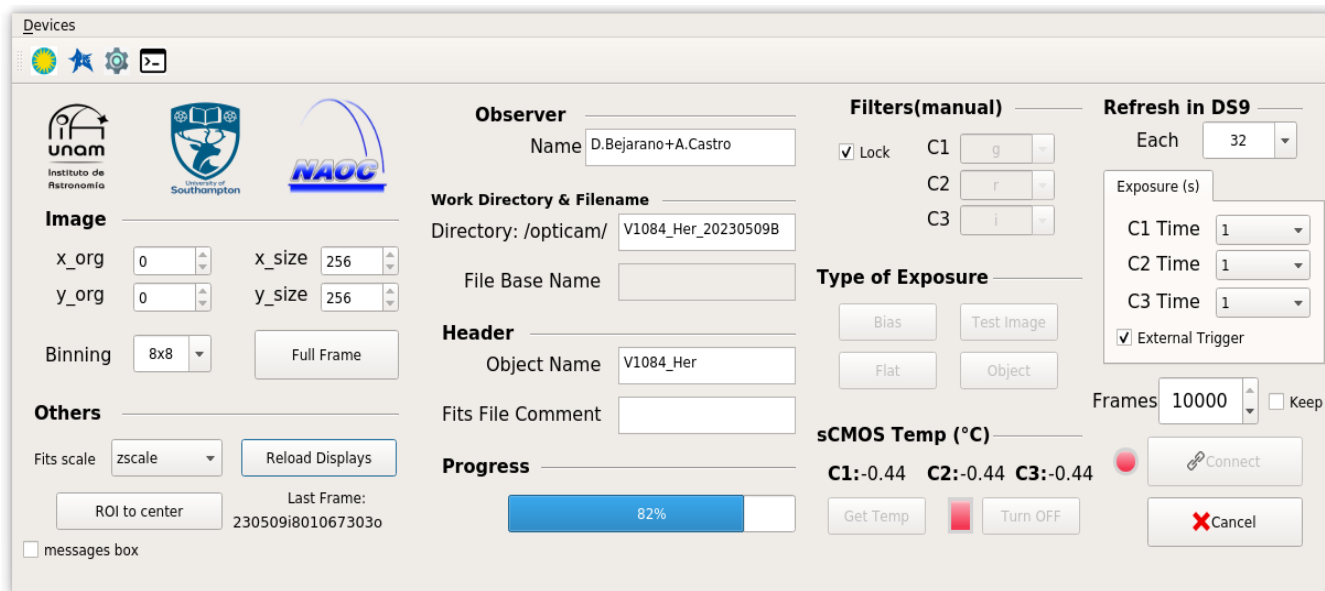


Figura 10: Ejemplo de visualización de la GUI una vez que se ha realizado conexión con las cámaras, se ingresaron los parámetros y se encuentra adquiriendo una secuencia multi-canal de 10,000 frames. Esta interfaz permite al usuario definir los parámetros de observación de los campos a observar, mismos que son enviados al programa de control de adquisición de imágenes.

IMPORTANTE: En caso de fallas operativas del programa de control de adquisición de imágenes de OPTICAM, se recomienda cerrar la ventana de la GUI (y suspender la ejecución del programa de control de adquisición de imágenes y la GUI mediante el comando CTRL+C en consola, en el caso de que no se hayan cerrado ambas simultáneamente al momento de cerrar la GUI), así como cerrar las ventanas de IRAF y/o SAO-DS9 en caso de que se encuentren en ejecución. Al reiniciar la GUI, la interfaz gráfica aparecerá en el modo predefinido, por lo que deberá ingresar nuevamente los parámetros de observación deseados.

Las principales fallas operativas pueden ser identificadas a partir de la presencia de los mensajes de error "SIGSEGV", "segmentation fault" y "AT_Error" en la terminal en la cual se ejecutó el comando `opticam_init` (la cual anteriormente se recomendó mantener visible en todo momento). En caso de que las imágenes adquiridas presenten franjas intercaladas o regiones con ausencia de señal evidente, será necesario suspender los procesos (programa de adquisición y GUI), reiniciar la cámara que presenta la falla, y arrancar los procesos nuevamente, siguiendo los pasos antes indicados. En caso de falla solicitar apoyo del personal técnico.

3. EJECUCIÓN DE LOS PROGRAMAS "CONTROL DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES" Y DE LA GUI

El software de OPTICAM está integrado por dos partes: a) el programa de control de adquisición de imágenes y b) el programa de la interfaz gráfica de usuario (GUI). Para operar el instrumento, es necesario ejecutar ambos programas desde la computadora del observador, conocida como *Sonaja*, en el cuarto de observación del telescopio de 2.1 m del OAN-SPM. Ambos programas se ejecutan remotamente en la computadora huésped de OPTICAM llamada *Muffin* ubicada en el piso del telescopio, de tal forma que el usuario debe abrir dos terminales (e.g. Konsole) y ejecutar ambos procesos por separado. Se recomienda primero el arranque del programa de control de adquisición

de imágenes desde una terminal (véase imagen Konsole - Ventana 1), y posteriormente, la ejecución de la GUI en otra terminal (véase imagen Konsole - Ventana 2).

Antes de intentar ejecutar los programas de control de adquisición de imágenes y de la GUI, debe verificarse que las tres cámaras se encuentran encendidas (véase Sección 2, Paso 2). Cada cámara cuenta con un interruptor mecánico, el cual debe colocarse en la posición ON al inicio de la noche de observación y en la posición OFF al finalizar la misma. El proceso de conexión remota y ejecución de los programas de control de adquisición de imágenes y la GUI se describe a continuación:

A) Programa de control de adquisición de imágenes.

Antes de arrancar este programa, es necesario conectarse de forma remota a la PC de OPTICAM mediante VNC. Una vez conectado al visualizador remoto de OPTICAM, se ejecutará la siguiente línea de comando: `opticam_init` en una terminal. Este comando es responsable de abrir el programa de control de adquisición de imágenes de OPTICAM, el cual es provisionalmente llamado **Muffin**. Dicho programa fue desarrollado en el lenguaje de programación C++. **Muffin** hace uso del núcleo de control de las cámaras Andor SDK v3 de Oxford Instruments e incorpora múltiples elementos para el proceso de adquisición simultánea de imágenes usando las tres cámaras Andor Zyla 4.2-PLUS USB 3.0 de OPTICAM, así como diversas herramientas de comunicación con la GUI. Una vez ejecutado el comando de inicialización, el programa de control de adquisición de imágenes quedará a la espera de instrucciones del usuario desde la GUI de OPTICAM. Si el procedimiento fue exitoso se mostrará el texto siguiente en la terminal:

```
Net server V1.2.....[OK]
Silverbox class.....[OK]
OPTICAM C1 class, default variables and headers.....[OK]
OPTICAM C2 class, default variables and headers.....[OK]
OPTICAM C3 class, default variables and headers.....[OK]
PulseController class.....[OK]
```

```
=====
MULTi-channel Fast-Frequency Imaging Node (MUFFIN)
OPTICAM Software v0.3 (Mar. 2022)
Authors:
```

```
    Angel Castro      (angelcastro0111@gmail.com)
    Enrique Colorado  (colorado@astro.unam.mx)
    Iván Zavala       (izavala@astro.unam.mx)
```

```
=====
[OPTICAM] Desktop IP: 192.168.0.35
[OPTICAM] Sever Port: 9710
-----
Looping...
[OPTICAM] Waiting for instructions via IP (Hose).
-----
```

B) Programa de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI).

Una vez que se ha arrancado el programa de control de adquisición de imágenes se deberá abrir el programa de la GUI. Para ello, en otra terminal se deberá ejecutar la siguiente línea de comando: **opticam_gui**.

4. INICIALIZACIÓN DE LAS CÁMARAS

Una vez iniciado el programa de la GUI (véase Sección 3) se mostrará una ventana como la de la *Figura 9*, la cual muestra los campos en blanco. En esta ventana se muestran los valores predefinidos de la interfaz. En la actual versión del programa, es necesario que el observador indique nuevamente los valores de los parámetros de sus observaciones después de cada inicio del programa de la GUI.

Posterior a la inicialización de la GUI, el usuario deberá establecer comunicación con las cámaras. Para ello debe pulsar el botón “Connect” en la parte inferior derecha de la GUI y esperar a que se complete el proceso de inicialización de las cámaras. Si el procedimiento es exitoso, en la ventana donde se ejecuta el programa de control de adquisición de imágenes (i.e. Konsole – Ventana 1) se mostrará el texto siguiente:

```

=====
[OPTICAM] Camera > | C1 | C2 | C3 |
=====

Internal camera name      Andor sCMOS      Andor sCMOS      Andor sCMOS
Camera model              Zyla 4.2-P      Zyla 4.2-P      Zyla 4.2-P
Camera serial number      VSC-05535      VSC-05530      VSC-05522
Pixel dimensions (um)     6.5             6.5             6.5
Camera readout            270             270             270
Binning factor in X      2               2               2
Binning factor in Y      2               2               2
Binning [ cols x rows ]  2x2          2x2          2x2
Dark current (electrons/pix/sec) 0.0986        0.0986        0.0986
Camera saturation level   32302          32302          32302
Camera detector temperature (C) 0.98          1.69          1.69
Pixel encoding (bits)    12             12             12
-----
Camera Status          1           1           1
Answer [3] to Client (5) >> CLOSE Closing socket with client... (5)
[OPTICAM] Waiting for instructions via IP (Hose).
-----
    
```

El observador deberá revisar el valor del parámetro “*camera status*” de las cámaras C1, C2 y C3, el cual debe tener un valor de “1” en los tres casos. Este parámetro es visible al final de la secuencia de mensajes de sistema, durante el proceso de inicialización de las cámaras. En caso contrario, el observador deberá ponerse en contacto con el equipo de soporte técnico. **Una vez que las cámaras se encuentren inicializadas, el proceso de enfriamiento activo mediante ventilación de aire iniciará de forma predeterminada.**



Aunque el enfriamiento activo puede ser deshabilitado desde la GUI, no se recomienda hacerlo salvo en casos extraordinarios.

5. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LA GUI

La GUI permite al observador definir el tipo de exposiciones deseadas (tamaño, tiempo de exposición, *binning*, tipo de imagen). Permite también definir parámetros auxiliares como el nombre del objeto, el nombre del observador y agregar comentarios en los encabezados de las imágenes a generar. A continuación, se describen las funciones de las diversas secciones de la GUI, siguiendo la misma numeración de los recuadros mostrados en la *Figura 11*:

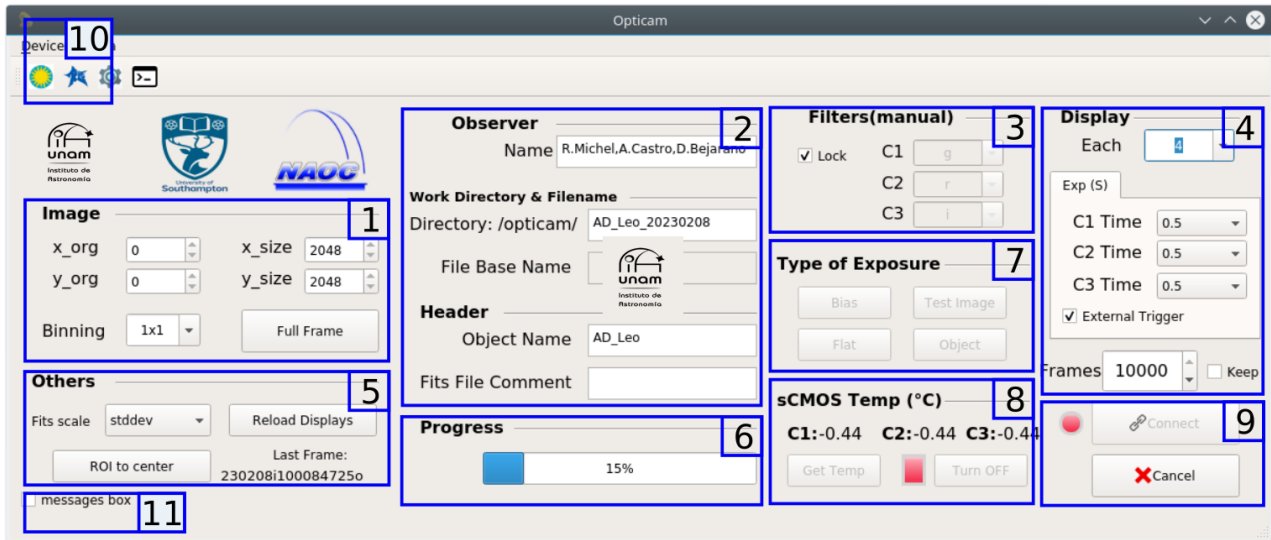


Figura 11: Secciones de la interfaz gráfica del usuario (GUI) de OPTICAM, enumeradas para su descripción en este documento. Permiten al usuario definir los parámetros de observación para los campos observados, los cuales son enviados al programa de control de adquisición de imágenes.

1. **Image.** En esta sección se define la región de interés (ROI) o tamaño de la ventana de observación y el *binning*. Cuando se pulsa el botón “Full Frame”, los valores dimensionales regresan al valor predeterminado correspondiente al *binning* especificado. La región de interés puede ser seleccionada directamente sobre la imagen en el visualizador. Sin embargo, para fines de alineación y composición, el observador debe tomar en cuenta los valores de las escalas de placa (véase Tabla 1) de cada uno de los canales del instrumento. Los centros geométricos de las imágenes adquiridas pueden variar por algunos píxeles debido a la diferencia de escala de placa entre ellos.
2. **Observer.** En esta sección se define información como son el nombre del observador en “Observer”, el subdirectorio donde se guardarán las imágenes en “Directory” y el nombre del objeto a observar en “Object name”. Los datos ingresados en estos campos (con excepción del nombre del directorio) serán incluidos en los encabezados de los archivos FITS.
NOTA: Al ingresar el nombre del objeto en “Object Name” o el nombre del directorio en “Directory” se debe evitar el uso de espacios en blanco.
3. **Filters (manual).** Aquí se especifican los filtros que, previamente fueron colocados de manera manual en los intercambiadores de filtros para cada una de las cámaras en los respectivos brazos del instrumento (véase Sección 9). El observador es la persona responsable de revisar que la configuración mecánica empleada coincida con los valores seleccionados en este menú. Actualmente, el indicador de selección “Lock” se emplea como un indicador visual para que el observador sepa que la configuración de filtros seleccionada no ha sido confirmada aún. Sin embargo, por ahora la selección de esta opción no tiene ninguna consecuencia.

4. **Display.** En la sección se especifican los parámetros de adquisición de imagen de una secuencia específica. La secuencia solo iniciará hasta que se haya indicado alguna de las opciones de la pestaña correspondiente a **Type of Exposure** del recuadro 7.

- **Tasa de actualización del visor de imágenes de la GUI (Each).** La opción “Each” permite definir cada cuántas imágenes se actualizarán las imágenes en DS9. El observador deberá ser cuidadoso y definir este valor, de tal forma que guarde una proporción apropiada con los tiempos de exposición solicitados para una secuencia en particular. Cuando los tiempos de exposición son muy pequeños y no se define apropiadamente el valor de la tasa de actualización del visualizador de la GUI (Each), se pueden presentar potenciales fallas y/o ralentización de la interfaz y/o el proceso mismo de adquisición de imagen. Si este número es superior al número de exposiciones (véase más abajo “Número de exposiciones”), entonces se actualizará y mostrará la última imagen adquirida en la secuencia
- **Tiempos de exposición.** En la opción “Exp(s)” se especifica el tiempo de exposición para cada una de las cámaras. Debido a que aún se están mejorando algunos aspectos del programa de OPTICAM, se sugiere definir el mismo tiempo de exposición para las tres cámaras.

NOTA: Este campo no acepta valores nulos o superiores a 30 segundos.

- **Disparo externo.** El indicador de selección de disparo externo “External Trigger” está seleccionado por defecto al iniciar la GUI. Esta opción permite el uso del módulo de sincronización externa (desarrollado por Iván Zavala) para generar pulsos TTL que indican a las cámaras cuándo iniciar cada exposición. Cuando esta opción de disparo externo no se encuentra seleccionada, entonces el sistema emplea el método de sincronización por software del programa de control de adquisición de imágenes. Para exposiciones mayores a 1 segundo, el “External Trigger” puede ser deshabilitado en la mayoría de los casos, en cuyo caso las secuencias de exposición serán controladas por *software*. La posibilidad de desactivar el “External Trigger” permanecerá disponible para pruebas específicas realizadas por el equipo técnico de OPTICAM y como opción de respaldo hasta que la confiabilidad del módulo de sincronización externa (véase [4]) se encuentre plenamente confirmada. Sin embargo, aun cuando la opción “External Trigger” se encuentre desactivada (durante pruebas de funcionamiento del sistema), el *software* obtendrá el tiempo preciso del GPS del módulo de sincronización de manera predeterminada. El valor preciso de tiempo, correspondiente a una imagen específica, se encuentra visible en el encabezado, en el parámetro “UT” de los archivos FITS generados.
- **Número de exposiciones.** En esta sección se define el número de “Frames” (i.e. números de exposiciones triple canal) solicitadas por el observador, como parte de una secuencia de adquisición de las tres cámaras de manera simultánea. Existen limitaciones técnicas para la configuración de imagen y tasa de adquisición solicitada.
- **Adquisición de secuencias continua.** Cuando se activa la cajita de selección “Keep” se le indica al sistema que deberá continuar la adquisición de secuencias del número de *frames* solicitados de manera indefinida. **NOTA: No se recomienda emplear esta opción en la presente versión del software.**

5. **Others.** Las opciones contenidas dentro de este recuadro están relacionadas a las propiedades del visor de imágenes:
- **FITS Scale.** Permite establecer la escala empleada en el visor de imágenes de la GUI. La opción se encuentra temporalmente desactivada.
 - **Reload displays.** En el caso de que la imagen mostrada en el SAO-DS9 no se renueve inmediatamente o durante una secuencia, al dar clic en el botón “Reload Displays” se actualizará la imagen. Este mismo botón puede utilizarse también cuando se desee actualizar la imagen visualizada en SAO-DS9 en cualquier momento que así se requiera. Incluso cuando la opción de despliegue “Never” haya sido seleccionada previamente en el campo “Display-Each” de la GUI, o si la secuencia de adquisición se encuentra ya en ejecución.
 - **ROI to center.** Opción temporalmente deshabilitada.
6. **Progress.** En esta sección se muestra la barra de progreso, la cual indica el estado de avance de la secuencia de datos solicitada. El progreso se calcula tomando en cuenta el número de imágenes adquiridas respecto al total de imágenes de la secuencia. En el caso de exposiciones individuales, esta información podría ser de poca utilidad para el observador.
7. **Type of Exposure.** Una secuencia de imágenes es ordenada una vez que alguna de las opciones de este apartado es seleccionada, en cuyo caso se agregará una letra *f* (para imágenes de flats), *b* (para imágenes de bias), u *o* (para imagen objeto de ciencia) al nombre de los archivos generado a manera de sufijo. Actualmente el disco duro de la PC de OPTICAM tiene una capacidad de 2 TB, por lo que el observador deberá revisar continuamente el estado del disco y respaldar sus datos en discos duros de estado sólido cuando sea necesario.
- **Test image.** Cuando se pulsa esta opción, las imágenes obtenidas se usan solamente para fines de visualización y no son guardadas en disco.
 - **Object.** Esta opción permite inicializar el proceso de adquisición de imágenes con fines científicos, las cuales son almacenadas en la trayectoria especificada en la sección “Work Directory & Filename”.
 - **Flat.** Esta opción permite almacenar las imágenes agregando al nombre de archivo una letra ‘f’ como atributo relacionado al tipo de imagen descrita.
 - **Bias.** No es posible definir tiempos de exposición nulos en el caso de las cámaras Andor Zyla 4.2- PLUS USB3.0. Debido a su poder de procesamiento FPGA y la capacidad de memoria de la cámara sCMOS Andor Zyla 4.2-P, estas permiten la implementación de la compensación por bias para cada píxel de la matriz en tiempo real. Tal característica reduce considerablemente el ruido de fondo a niveles insignificantes, erradicando así el ruido de patrón fijo asociado con las cámaras CMOS. Sin embargo, si el observador lo requiere, pueden obtenerse imágenes de muy corta duración bajo condiciones de baja iluminación. Para ello se deberá seleccionar el menor tiempo de exposición disponible en la GUI (actualmente de 0.01 s) y pulsar el botón “bias” para etiquetar apropiadamente los archivos FITS generados.
8. **sCMOS Temp (°C).** En esta sección de la GUI se despliegan los valores de temperatura para las tres cámaras de OPTICAM. **El despliegue de la temperatura de las cámaras no se refresca automáticamente en pantalla**, sino que debe pulsarse el botón “Get Temp” para que estos valores se actualicen y desplieguen en la GUI. Por otro lado, los valores de temperatura también se actualizan al solicitar una secuencia de imágenes (de cualquier tipo).

- **Get Temp.** Esta opción envía una solicitud de información a cada una de las cámaras sobre el valor actualizado de temperatura de los detectores. Un valor típico de temperatura operativa es de -0.47 C, el cual puede incluso disminuir en las noches frías de invierno.
- **Turn On/Off.** El sistema de enfriamiento de los detectores se enciende de manera automática por el software de control. Sin embargo, al pulsar este botón se podrá suspender el enfriamiento de las cámaras, y posteriormente volver a encenderse cuando sea requerido. De manera general, **no se aconseja al observador suspender el enfriamiento activo** y se sugiere que sea el personal técnico quien realiza este procedimiento de manera justificada cuando la cámara se encuentra encendida.

9. Conexión con las cámaras y cancelación de secuencias.

- **Connect.** Permite inicializar las cámaras y activar la comunicación con la GUI. Este procedimiento se encuentra explicado con mayor detalle en la Sección 4.
- **Cancela.** Esta opción permite suspender el proceso de adquisición de imágenes, ya sea una exposición individual o una secuencia de imágenes. **El usuario deberá esperar algunos segundos después de haber cancelado una exposición o secuencia para que el botón “Expose” esté nuevamente habilitado.** Evite presionar otros botones de la GUI mientras se descargan los buffers de memoria luego de una cancelación. Una vez que la secuencia o el proceso de liberación de memoria ha concluido, el usuario podrá ver en la Konsole – Ventana 1 el mensaje: “[OPTICAM] Waiting for instructions via IP (Hose) (véase Sección 3).

10. Visualizador SAO-DS9 e IRAF. En esta sección de la GUI se localiza el ícono de SAO-DS9. Al hacer clic sobre el ícono se abrirá el visor de imágenes SAOImage DS9 (véase *Figura 12*) y mostrará de manera simultánea las últimas imágenes adquiridas por cada una de las tres cámaras. De igual manera, al dar clic sobre el ícono de IRAF se abrirá una ventana *xgterm* que dará acceso a aplicaciones básicas de IRAF. Sin embargo, en la versión actual del software no se aconseja su uso. En caso se usarlo, deberá cerrar la ventana *xgterm* luego de emplearla brevemente.

11. Ventana de mensajes. La cajita de selección “Messages box” permite visualizar la barra de mensajes de la GUI, la cual muestra mensajes del sistema. Se recomienda al usuario mantenerse al pendiente de los mensajes de salida en la ventana donde se ejecuta el programa de control de adquisición de imágenes (**Muffin**), particularmente los relacionados a errores de conexión y “TIMEOUTS”, en cuyo caso deberá informar al electrónico en turno. En caso de errores (e.g. AT_ERROR_TIMEOUT) se recomienda cerrar la GUI y detener ejecución del programa de control (e.g. usando CTRL+C en la terminal respectiva), así como todas las ventanas SAO-DS9 y IRAF asociadas. Luego reiniciar ambos procesos en terminal según se indica en la Sección 3.

NOTA 1: Los detectores Andor Zyla 4.2-P no cuentan con obturador. Sin embargo, para fines de monitoreo y caracterización, se recomienda obtener al menos una secuencia de imágenes tipo “Darks”, esto es, imágenes en condiciones de completa oscuridad, durante la noche y con el domo cerrado durante la temporada de observación

NOTA 2: Debe tomarse en cuenta que el instrumento ha sido diseñado de forma expresa para observar fuentes puntuales relativamente brillantes empleando cámaras rápidas sCMOS. De ahí que el efecto ‘*blemish*’ (presencia de numerosos píxeles tibios) puede hacerse muy notorio para tiempos

de exposición por arriba de 5 segundos. Este efecto puede ser controlado haciendo corrección por flats y con máscaras en casos severos, cuando tiempos de exposición largos son obligatorios.

NOTA 3: Las posiciones de las diferentes cámaras del instrumento, así como de los elementos ópticos del sistema, son ajustadas y verificadas bajo condiciones de laboratorio. El personal técnico ha realizado las pruebas necesarias para lograr el mejor ajuste de imagen posible en las tres cámaras de manera simultánea. De esta manera los ajustes de foco usando el espejo secundario del telescopio se aplican simultáneamente en los tres canales. Usar imagen de C3 como referencia para enfocar.

NOTA 4 (marzo 2025): Evite tiempos de exposición inferiores a 1 segundo con la presente versión de software de OPTICAM. Esto, debido a un problema de hardware que experimenta el sistema y que nos encontramos atendiendo. Se implementará una actualización durante 2026.

NOTA 5 (marzo 2025): Por favor no conecte ninguna memoria USB o dispositivo externo a la PC de OPTICAM sin la supervisión del personal técnico. El sistema OPTICAM ha experimentó problemas técnicos durante 2024 asociadas a la conexión de estos dispositivos. Para copiar sus datos, siga el procedimiento descrito en la Sección 11.

NOTA 6 (marzo 2025): Se insiste en NO USAR la opción 'keep' en la GUI. Se encuentra deshabilitada pero aún no ha sido removida del código de la GUI.

6. VISUALIZACIÓN CON SAO-DS9

Al presionar el icono de SAO-DS9, que se encuentra en la parte superior izquierda de la ventana de la GUI, se abrirá dicha aplicación. En la ventana de SAO-DS9 se mostrarán simultáneamente las imágenes adquiridas por las tres cámaras del instrumento (véase *Figura 12*). Las imágenes se muestran rotadas por software de manera que el Norte esté arriba y el Este, a la izquierda.

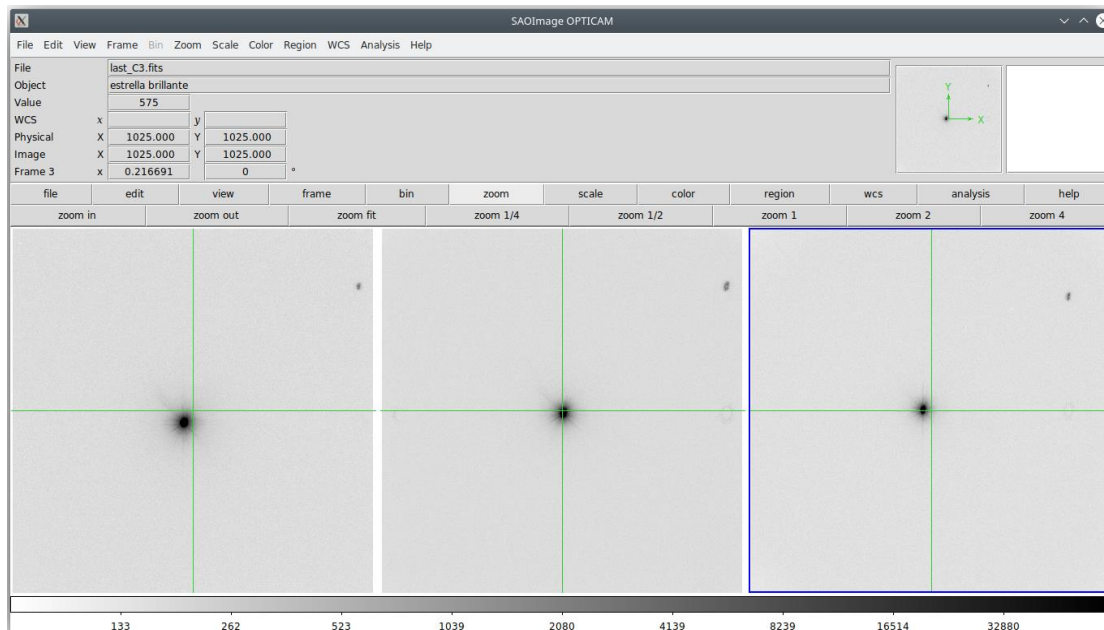


Figura 12: Ventana de visualización de imágenes con SAO-DS9. Se muestran de forma simultánea las imágenes adquiridas por los tres canales de OPTICAM. A la izquierda la imagen de la cámara 1 (C1), al centro la imagen de la cámara 2 (C2) y a la derecha la imagen de la cámara 3 (C3). Las imágenes mostradas en SAO-DS9 se encuentran automáticamente rotadas para coincidir con los ejes celestes Norte arriba, Este a la izquierda. El “crosshair” del SAO-DS9 nos permite colocar rápidamente la estrella brillante usando como referencia el centro del campo de C2. Usar C3 como referencia para enfocar.

La interfaz de SAO-DS9 aparecerá aproximadamente 20 segundos después de haber presionado el ícono de este. En el caso de exposiciones individuales, para actualizar el conjunto de tres imágenes mostrado en esta interfaz (correspondientes a los 3 canales de OPTICAM) es necesario que la ventana de SAO-DS9 se encuentre abierta antes de adquirir imagen.

El usuario deberá especificar un valor de tasa de despliegue apropiado, de acuerdo con los parámetros propios de la observación, de tal manera que la actualización no ocurra demasiado seguido. Una tasa de actualización del despliegue de imágenes (la misma tasa aplica tanto para la GUI como para SAO-DS9) demasiado rápida, podría causar fallas en la comunicación o la continuidad temporal de los procesos de lectura de imágenes. Si una secuencia de imágenes es iniciada con tasa de actualización del visualizador demasiado rápida, se recomienda cerrar la interfaz de SAO-DS9 e inmediatamente cancelar la secuencia de adquisición, corregir a una tasa de despliegue apropiada y volver a iniciar la secuencia de adquisición. En la parte superior izquierda de la ventana de la GUI se muestran íconos adicionales al de SAO-DS9, asociados al uso de IRAF.

7. REINICIO DE LA PC DE OPTICAM DESDE SONAJA

En caso de ser necesario, por ejemplo si la terminal remota se ha congelado, y se requiere reiniciar la PC de OPTICAM (i.e. *Muffin*, instalada actualmente sobre la platina del telescopio de 2.1 m, este proceso puede realizarse de dos maneras: **1**) presionando manualmente el botón de encendido/apagado de la PC, apagando y encendiendo el equipo de manera consecutiva (no recomendado), y **2**) ejecutando remotamente el comando de reinicio desde la computadora del observador (PC *Sonaja*) en el cuarto de observación del telescopio de 2.1 m del OAN-SPM (e.g. Konsole Ventana 3; Figura 13). El proceso de conexión remota y reinicio de la computadora *Muffin* es el siguiente:

```
(opticam) 192.168.0.35 – Konsole – Ventana 3: Reinicio de la PC de OPTICAM
observa@sonaja:~$
observa@sonaja:~$ ssh -X opticam@192.168.0.35
password:opticam
...
...
opticam@muffin:~$ sudo reboot
password:opticam
```

Figura 13: El comando “sudo reboot” permite el reinicio de la computadora *Muffin*.

Puede abrirse una terminal nueva (como en el ejemplo) para realizar el procedimiento o puede hacer también desde cualquiera las dos terminales previamente abiertas de OPTICAM, en cuyo caso solo será necesario teclear el comando de reinicio e ingresar la clave. Si el usuario se encuentra conectado directamente a la PC de OPTICAM desde la terminal VNC, entonces no será necesario entrar nuevamente empleando `ssh -X` y bastará con ejecutar el comando de reinicio en cualquier terminal directamente en *Muffin*.

8. APAGADO DE LA PC DE OPTICAM DESDE SONAJA

Desde la computadora *Sonaja* ubicada en el cuarto de observación y desde una terminal (ver *Figura 14*) entrar a la PC de OPTICAM (i.e. *Muffin*) y apagar de manera correcta la PC siguiendo estos pasos:

```
(opticam) 192.168.0.35 – Konsole – Ventana 4: Apagado de la PC de OPTICAM
observa@sonaja:~$
observa@sonaja:~$ ssh -X opticam@192.168.0.35
password:opticam
...
...
$ opticam@muffin:~$ sudo poweroff
password:opticam
```

Figura 14: El comando “sudo poweroff” permite apagar la computadora *Muffin* desde una terminal.

Si ya se encuentra conectado a *Muffin* por medio de la VNC, será suficiente con ejecutar “sudo poweroff” desde cualquier terminal directamente en *Muffin*.

9. INTERCAMBIADOR MANUAL DE FILTROS

Como se mencionó, el instrumento cuenta con tres diferentes brazos, cada uno de ellos con una cámara astronómica Andor Zyla 4.2-PLUS. Para cada brazo, los filtros de OPTICAM requieren ser colocados de forma manual sobre la trayectoria óptica del brazo respectivo, mediante el desplazamiento de la “bayoneta” del intercambiador de filtros, como se muestra en la *Figura 15* (izquierda), a las posiciones y filtros descritas en la Tabla 4 y *Figura 15* (derecha), respectivamente. En la *Figura 16* se muestra un esquema que ejemplifica cómo cambian posiciones de los filtros al desplazar la bayoneta respectiva. **El usuario deberá ser sumamente cuidadoso de seleccionar apropiadamente la configuración de filtros en la GUI** (“Filters” en la GUI, *Figura 9*), ya que los valores de la selección ahí indicada serán los que se registren en los encabezados de los archivos de imagen FITS. Los filtros solamente podrá seleccionarlos de la lista disponible en el menú de selección respectivo, la cual es consistente con la Tabla 4. El juego de filtros Astrodon Gen2 SDSS (*Figura 3*) de OPTICAM se encuentra colocado de manera permanente y ningún filtro deberá ser removido del instrumento.

TABLA 4

Configuración de filtros de OPTICAM

Brazo/Bayoneta	Cámara	F1	F2	F3
1	C1	u'	g'	...
2	C2	r'
3	C3	i'	z'	...

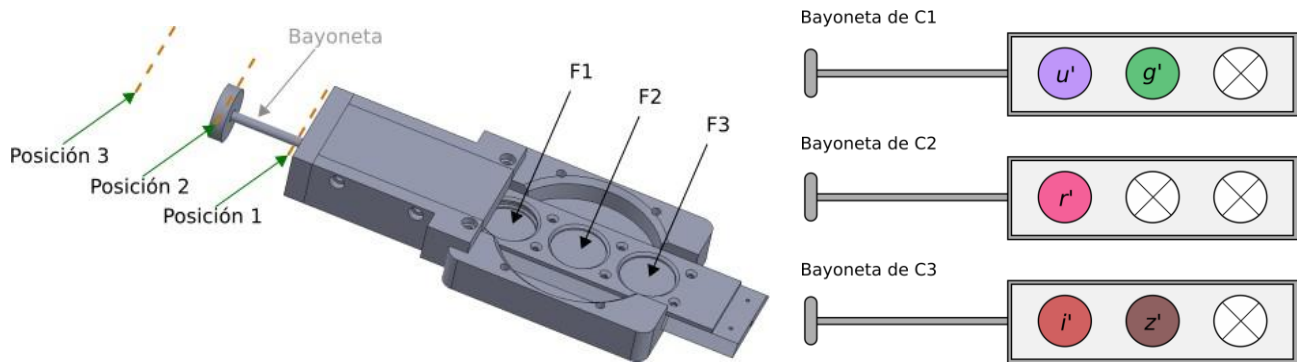


Figura 15: *Izquierda:* Intercambiador de filtros manual de OPTICAM. Se usa una bayoneta para colocar de forma manual el filtro deseado. Deberá jalar la perilla de la bayoneta para colocar el filtro de acuerdo con lo descrito en la Tabla 4. *Derecha:* Distribución de filtros en las bayonetas de los intercambiadores correspondientes a las cámaras C1, C2 y C3, respectivamente.

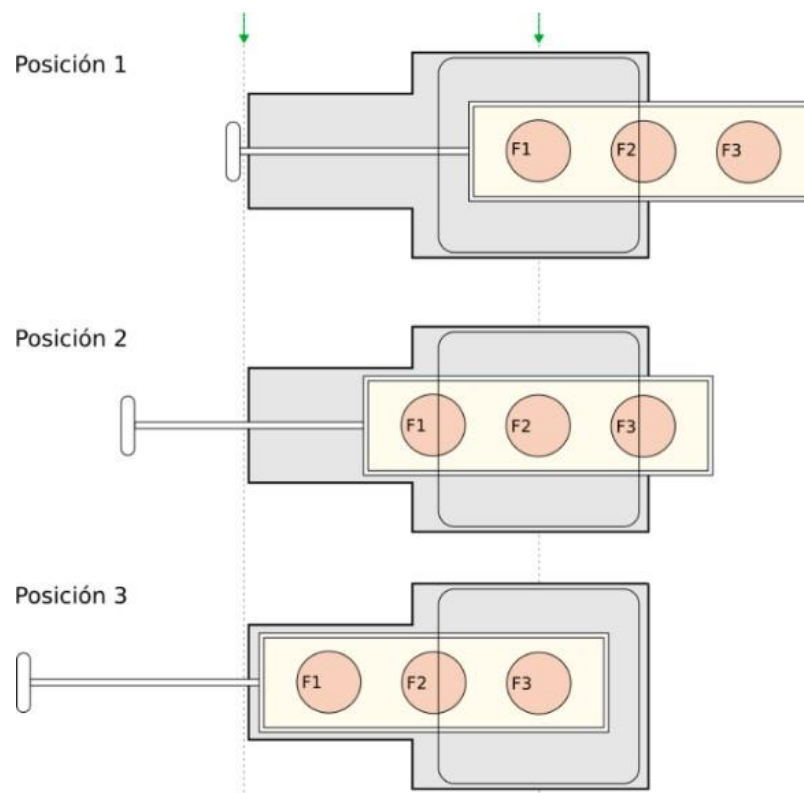


Figura 16: Diagrama esquemático del funcionamiento básico del sistema intercambiador de filtros de OPTICAM. Los filtros son manualmente desplazados a la posición deseada, de tal forma que el filtro seleccionado es colocado frente a la cámara astronómica respectiva. Para conocer el filtro específico en una posición dada y para cada uno de los tres brazos del instrumento véase la Tabla 4. Ejemplos: 1) Al desplazar la bayoneta del intercambiador de filtros del brazo 3 (C3) a la Posición 2, se hace uso del filtro z' ; mientras que 2) al desplazar la bayoneta del intercambiador de filtros del brazo 2 (C2) a la Posición 1, se hace uso del filtro r' .

El equipo de colaboradores de OPTICAM se encuentra actualmente trabajando en el desarrollo de un mecanismo para la colocación automatizada de los filtros deseados por el observador. Esta automatización será de utilidad para disminuir los tiempos muertos asociados a la necesidad de

desplazar manualmente los mecanismos del actual intercambiador de filtros y evitará confusiones y potenciales errores en el caso de que el observador olvide actualizar dichos parámetros al momento de la observación.

10. ENFRIAMIENTO TERMOELÉCTRICO (MODELO REFRIGERADO POR AIRE)

El sensor Zyla sCMOS se enfría mediante un enfriador termoeléctrico (TE). Los enfriadores TE son dispositivos pequeños que funcionan con electricidad y no tienen partes móviles, lo que los hace confiables y convenientes. Un enfriador TE es en realidad una bomba de calor, es decir, logra una diferencia de temperatura al transferir calor desde su “lado frío” (el chip CMOS) a su “lado caliente” (el disipador de calor incorporado). Por lo tanto, la temperatura de funcionamiento mínima absoluta del sensor Andor Zyla 4.2-P depende de la temperatura del disipador de calor. La máxima diferencia de temperatura que puede alcanzar un dispositivo depende de los siguientes factores: **a)** Carga de calor creada por el sensor Zyla (basado en la velocidad de lectura de píxeles), **b)** Número de etapas de enfriamiento del enfriador TE, **c)** Corriente de funcionamiento, y **d)** Temperatura del lado caliente del enfriador termoeléctrico. Incluso con un ventilador, un disipador de calor normalmente debe estar al menos 10 °C más caliente que la temperatura del aire (habitación) para transferir calor eficientemente al aire circundante. Por lo tanto, durante el funcionamiento normal, la temperatura del disipador de calor dentro del cabezal de la cámara será más alta que la temperatura ambiente (habitación), como se indica en el documento técnico del fabricante: Hardware Guide Zyla sCMOS².

En el caso de los detectores Andor Zyla 4.2-P USB 3.0 empleados por OPTICAM, el valor típico de temperatura operativa es de -0.44 °C. El enfriamiento activo por medio de aire es inicializado de forma predeterminada luego de conectar el sistema desde la GUI como se describe en la Sección 4. **El enfriamiento activo puede ser suspendido, pero solo se recomienda hacerlo debido a alguna razón justificada** al presionar el botón “Turn OFF” de la GUI.

Cuando el enfriamiento activo se encuentra deshabilitado, las cámaras operarán a una temperatura de ~20 °C. Sin embargo, no se recomienda esta acción durante operaciones nominales, debido a que el efecto de ruido térmico puede ser considerable, imposibilitar las observaciones en una gran cantidad de casos, y eventualmente, dañar a los propios detectores. El usuario deberá asegurarse en todo momento que las cámaras se encuentren suficientemente ventiladas y los accesos de aire se encuentren libres en todo momento.

11. ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA DE DATOS

Los diversos accesorios del instrumento, descritos a continuación, permiten al sistema una correcta transferencia y almacenamiento de datos. Cuando realice el respaldo de sus datos y requiera conectar su dispositivo, el usuario deberá solicitar apoyo del personal técnico y científico autorizado del OAN-SPM.

11.1. ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA

Las secuencias de imágenes obtenidas por OPTICAM son guardadas directamente en un disco duro de estado sólido modelo Samsung EVO 980 PRO PCIe 4.0 NVMe SSD de 2 TB, siendo **\${HOME}/images/opticam/** la trayectoria predeterminada para dicha tarea. Los nombres de los directorios ingresados por el usuario en el apartado “Work Directory & Filename” de la GUI son concatenados a esta trayectoria base para construir la trayectoria destino de las observaciones

² https://andor.oxinst.com/downloads/uploads/Zyla_hardware_user_guide.pdf

realizadas por el usuario. Si el usuario no ingresa este parámetro, entonces las imágenes se guardarán directamente en la trayectoria base predefinida. Es responsabilidad del observador verificar (previo al inicio de la temporada o durante la primera noche de observación) el porcentaje de ocupación del disco y realizar un respaldo de datos (véase Sección 11.2) en caso de ser necesario, tomando en cuenta la cantidad de datos que planea generar durante su temporada de observación.

La PC de OPTICAM (*Muffin*) cuenta también con un segundo disco de estado sólido de 8 TB (montado en “/oldimages”), pero el respaldo de datos no ocurre de manera automática, sino que debe realizarse explícitamente por parte del usuario o personal técnico.

11.2. PROCESO DE RESPALDO DE DATOS (MARZO 24, 2025)

Se describe el proceso de respaldo de datos por medio de **a)** discos duros portátiles y **b)** transferencia directa hacia un servidor remoto (solo recomendado cuando la cantidad de datos a ser transferida se encuentra en el rango de gigabytes o menor). **POR NINGÚN MOTIVO CONECTAR SU PROPIA USB PORTÁTIL A LA PC DE OPTICAM.**

Para copiar sus datos, estos deberán ser transferidos primero al servidor de datos NAS-OPTICAM (*Figura 17*; ver proceso en Sec. 11.2.1) y posteriormente copie sus datos desde el NAS a su disco portátil, el cual deberá conectarse directamente al NAS. Pida apoyo al personal técnico del OAN para realizar esta conexión, ya que el servidor no se localiza en el piso del cuarto de observación. Mayores detalles relativos a los *scripts*, la configuración del servidor y el proceso de transferencia serán proporcionados en una publicación técnica próxima.



Figura 17: Servidor NAS-OPTICAM, el cual se localiza en el piso de óptica (piso 2) del edificio de telescopio de 2.1m del OAN-SPM. Preguntar al personal técnico sobre el procedimiento para conectar su memoria USB 3.x portátil al servidor.

11.2.1. RESPALDO DE IMÁGENES DESDE MUFFIN HACIA EL NAS-OPTICAM

Este proceso deberá realizarse desde el directorio $\${HOME}$ de una terminal de *Sonaja* (la PC de usuario en el cuarto de observación del telescopio de 2.1 m). Consiste en ejecutar un *script* en el cual se indica el nombre del directorio que el usuario desea respaldar en el servidor. Se sugiere al usuario crear diariamente un directorio de las observaciones correspondientes a cada noche de observación siguiente un estándar YYYYMMDD en U.T. (e.g. si mi temporada inicia la noche del 21 de marzo de 2025, crear un directorio llamado ‘20240322’). Este estándar será implementado de manera automática a partir de 2026. Dentro de este mismo directorio el usuario puede crear sus propios subdirectorios. El script se ejecuta de la siguiente manera:

```
observa@sonaja:~$bash opticam_fits_to_nas.sh
```

El script preguntará el nombre del directorio a copiar. El script presupone que dicho directorio se encuentra en `/${HOME}/images/opticam`, por lo que no es necesario incluir toda la trayectoria, sino solamente el nombre particular de su directorio de interés. En caso de que el script pida nuevamente la contraseña del NAS-OPTICAM, preguntar la contraseña al personal técnico de turno.

11.2.2. RESPALDO DESDE EL NAS-OPTICAM HACIA UN DISCO O MEMORIA PORTÁTIL TIPO USB 3.0

Cada observador será responsable de contar con un disco duro portátil USB 3.x con capacidad suficiente para almacenar la totalidad de datos que espera generar durante su temporada de observación. **Si realizó observaciones de alta cadencia temporal, no use discos USB 2.0** debido a que el tiempo de escritura será demasiado grande y podría poner en riesgo el correcto respaldo de sus datos. En la *Figura 18* se muestran dos discos SSD portátiles que se han empleado satisfactoriamente con anterioridad. Sin embargo, otros discos duros portátiles genéricos pueden ser empleados también, en cuyo caso deberá tomarse en cuenta que el proceso de respaldo de datos puede tomar varias horas en completarse. **Antes de subir al OAN-SPM, el observador deberá asegurarse que su disco portátil de alta capacidad posee capacidad suficiente y formato compatible** con Linux Ubuntu/Mint (ext4) o bien con Windows (NTFS). El usuario experimentará problemas con formatos Mac y FAT.



Figura 18: Ejemplo de discos portátiles tipo USB 3.0 (o superior) empleado para el respaldo de los datos. Debido a su velocidad de transferencia de datos, se sugiere el uso de discos SSD como el SAMSUNG SSD T7, el cual permite velocidades escritura de hasta 530 MB/s. Sin embargo, cualquier memoria USB 3.0 será también de utilidad.

Con apoyo del personal técnico de turno, el usuario deberá conectar su disco portátil a la terminal USB del NAS-OPTICAM que se encuentra ubicado en el segundo piso del telescopio de 2.1 m del OAN-SPM. Para copiar los datos de su temporada, los cuales han sido previamente copiados al NAS-OPTICAM desde *Muffin* es necesario ejecutar el script `opticam_nas_to_disk.sh` en el directorio `/${HOME}` de la *Sonaja* (es decir, `/home/observa`) de la siguiente manera:

```
observa@sonaja:~$bash opticam_nas_to_disk.sh
```

El *script* preguntará el nombre del directorio a copiar. El script presupone que dicho directorio se encuentra en `/${HOME}/images/opticam`, por lo que no es necesario incluir toda la trayectoria, sino solamente el nombre particular de su directorio de interés. El script podrá solicitar la contraseña del NAS-OPTICAM hasta un par de veces. Preguntar la contraseña al personal técnico de turno.

Una vez ejecutada la instrucción, el script preguntará si desea desmontar su disco. Si planea copiar más directorios del NAS a su disco, diga que no desea desmontar y ejecute nuevamente la instrucción para el directorio siguiente, el cual deberá ingresarlo manualmente. Se recomienda

esperar un par de minutos luego de desmontar o bien entre cada ejecución en el caso de que los directorios sean grandes o bien si ha terminado el proceso de copiado.

11.2.3. RESPALDO DE DATOS EN SERVIDOR EXTERNO DESDE LA PC DEL USUARIO

Esta opción supone que los datos se encuentran ya en la computadora personal del usuario o bien en un disco portátil, pero desea compartir algunos de estos datos con colaboradores externos fuera del OAN-SPM. Debido a sus capacidades nominales de adquisición de imágenes, OPTICAM es capaz de generar grandes cantidades de datos en un tiempo relativamente corto. Se espera que, al final de una temporada de observación con OPTICAM en el OAN-SPM, se hayan acumulado datos del orden de terabytes. Debido a ello, la transferencia de datos vía internet desde el propio OAN-SPM debe evitarse y en su caso se recomienda (de manera forzosa) el respaldo de datos mediante copia directa a disco duro portátil (véase Sección 12.2.1). La PC de OPTICAM no cuenta con conexión a red externa, por lo cual los datos deben ser primero copiados a disco externo y luego transferidos desde su propia PC o Laptop hacia el exterior. **Solo deberá recurrir a esta opción de respaldo en casos excepcionales**, siempre y cuando la configuración de *binning* sea diferente de 1×1 y la tasa de muestreo de la observación respectiva sea de no más de un cuadro por segundo.

A manera de ejemplo, aquí se ilustra el proceso de transferencia de datos (en modo gráfico) empleando el navegador de archivos “Nemo” (Figura 19), en Ubuntu 22.04 LTS. Este procedimiento puede cambiar dependiendo del navegador empleado por el usuario. Se recomienda configurar una conexión directa al servidor deseado. Para ello, deberá elegir las opciones de menú de Nemo: **File>Connect to Server**. Se mostrará una ventana como la mostrada en la Figura 20, la cual deberá completar con las particularidades del servidor deseado. En el caso de requerir acceso al servidor ‘teeymay’, favor de contactar al PI de OPTICAM.

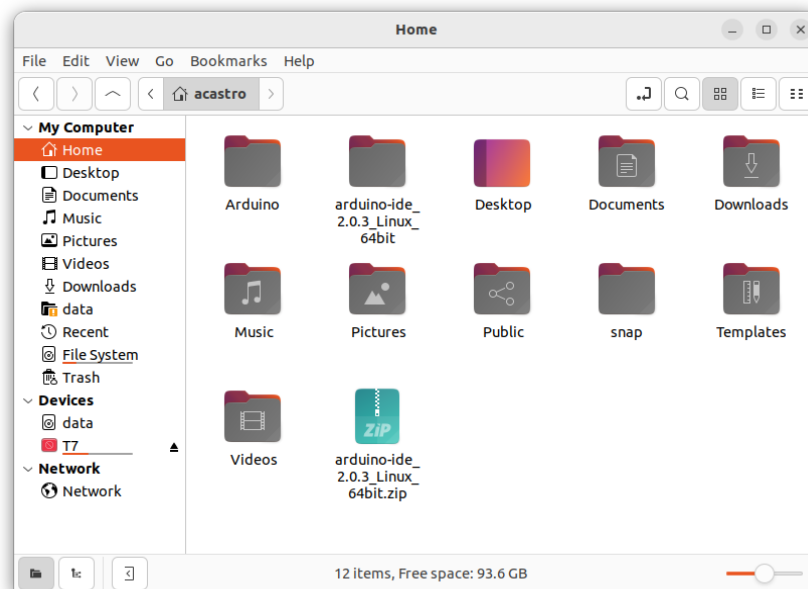


Figura 19: Uso de la aplicación Nemo como navegador de archivos. Los datos deberán primero ser copiados a un disco portátil y luego podrán transferirse a un servidor externo. Sin embargo, estas transferencias no deberán realizarse desde el OAN-SPM, salvo en casos excepcionales, y siempre que estos no comprometan de manera alguna el ancho de banda disponible en el Observatorio.

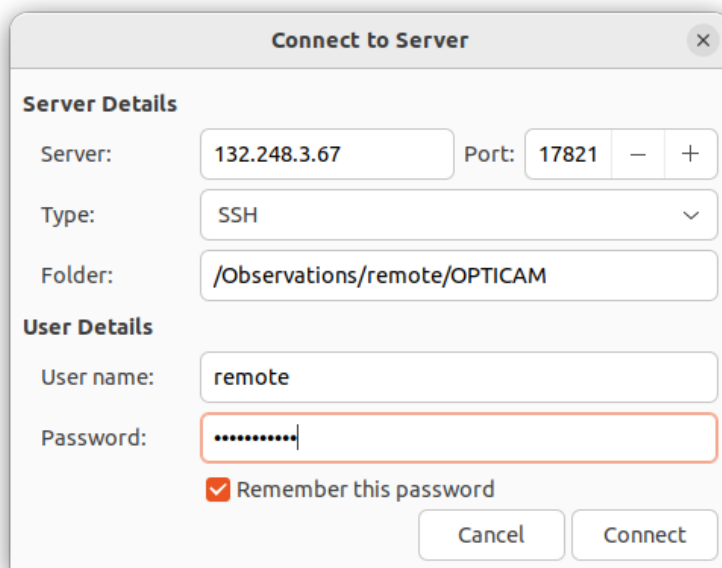


Figura 20: Configuración de servidor externo para transferencia de datos empleando el navegador de archivos ‘Nemo’. OPTICAM no cuenta con conexión a red externa. Se recomienda que las transferencias se realicen directamente desde su computadora personal.

12. CABLE USB 3.0 DE LA CÁMARA ANDOR ZYLA 4.2-PLUS

Para la comunicación de la PC con las cámaras Andor Zyla 4.2-P USB3 se deberá emplear un cable USB 3.2 Gen 1 o USB 3.1 Gen 1, Superspeed USB 3.0 tipo A a tipo B cuando menos de 1.5 metros de longitud (USB3.0 *superspeed A male K B male screw lock cable*; Figura 21). Este cable debe ser capaz de transferir hasta 5.0 Gp/s en lógica TTL. Cuando se coloquen reemplazos, se deberá asegurar la calidad de dichos componentes para evitar posibles fallas de comunicación entre los detectores astronómicos y el software de control.



Figura 21: Cable USB 3.2 o USB 3.1 SuperSpeed 5.0 Gb/s 1.5m con tornillos de sujeción. Debe revisarse cuidadosamente que el cable utilizado para conectar las cámaras Andor Zyla 4.2-Plus USB3.0 a la respectiva tarjeta controladora de puertos de la PC cuente con las características de transmisión requeridas.

13. GUÍA RÁPIDA PARA NOCHES DE INGENIERÍA

En esta sección se presenta una guía resumida de los pasos que debe seguir el astrónomo residente de turno durante una noche de ingeniería. Se incluye la verificación del estado de la antena GPS, el encendido y enfriamiento de las cámaras, la ejecución de los programas necesarios, la adquisición de imágenes, así como el centrado tanto de los campos de imagen como del telescopio y su guiador. Finalmente, se adquieren imágenes de prueba para confirmar que los datos se están almacenando correctamente en el disco.

1. **Verificación de la línea de vista de la antena GPS.** Antes de iniciar la temporada de observación, es necesario que el astrónomo residente haya verificado que la antena GPS (ver *Figura 22*) de OPTICAM se encuentre correctamente colocada y cuente en todo momento con línea de vista a la red satelital, lo cual le permitirá obtener actualizaciones de varios satélites de la red global, simultáneamente.

Figura 22: La antena del GPS es instalada de manera temporal sobre la baranda exterior



del piso de telescopio. Al instalarla, se debe procurar siempre que los cables no obstruyan el paso del personal.

2. **Encender las tres cámaras y presionar el botón rojo de la caja de temporización (ETM;** reiniciará el control de temporización). El LED rojo de la ETM debe parpadear continuamente (ver *Figura 5* (derecha)). En ocasiones, tarda en obtener señal cuando se encuentre la ETM por primera vez durante la temporada de observación.
3. **Acceder remotamente a la PC de OPTICAM** mediante la aplicación VNC.
4. **Ejecutar los comandos `opticam_init` y `opticam_gui`** cada uno en una terminal, en ese orden (ver Sección 2). Mantener visibles las ventanas de ambas terminales en todo momento.
5. Abrir una tercera terminal y **verificar el espacio** disponible en disco con el comando `df -h /images`. Si el espacio disponible se encuentra por debajo del 20%, deberá coordinarse con el personal de cómputo y el responsable del instrumento, en caso de ser necesario, para realizar las acciones necesarias orientadas a liberar espacio en disco.
6. Presionar botón **“Connect”** de la GUI, ver los mensajes en la terminal y verificar que se conectaron las 5 cámaras (3 Zyal-4.2-Plus USB3.0 y 2 simuladas). Si algo falla en una cámara,

no actualizará los valores de *binning* default de la tabla que muestra cuando termina de inicializar las cámaras (ver Sección 4).

7. Presionar el botón **“Get temp”** en la GUI y esperar hasta que haya alcanzado cuando menos 2 °C para empezar a adquirir imágenes El valor normal de operación es aproximadamente -0.4 °C para observaciones regulares.
8. **Lanzar DS9** presionando el icono respectivo en la GUI. Si no abre en modo mosaico con tres campos, volver a lanzar el DS9 presionando el icono nuevamente.
9. **Lanzar IRAF** presionando el icono respectivo en la GUI. Esto puede tardar un par de minutos.
10. Adquirir imagen individual de prueba (no se guarda en disco) con el botón **“Image”** en la GUI y verificar que actualiza las imágenes respectivas en el DS9. Configurar en la GUI para que despliegue cada adquisición en el DS9 (*Each 1 frame*).
11. **Apuntar telescopio a una estrella brillante** magnitud 5. **Centrar el campo usando** imagen de la cámara **C2** como referencia y corregir coordenadas de telescopio.
12. **Enfocar el telescopio** usando la misma estrella brillante y la **imagen de C3 como referencia**. Emplear IMEXAM en la ventana de IRAF para ajuste fino de foco. Pulsar sobre la imagen en el *frame* correspondiente de DS9 para actualizar el perfil generado por IMEXAM.
13. **Centrar** y enfocar campo de **guiador**.
14. En la GUI **definir el nombre del directorio** para ingeniería y tomar una triada de imágenes pulsando **“Object”** en la GUI. En una terminal diferente, ir al directorio de ingeniería y verificar que la triada de imágenes ha sido creada y que fue visualizada correctamente en el DS9.
15. **Definir una secuencia de imágenes** de 100 *frames* con tiempo de exposición de 0.1 segundos. **Seleccionar la tasa de despliegue** de imágenes cada 10 *frames* en DS9. Ejecutar la secuencia y verificar en el directorio respectivo que fueron creados los 300 archivos.

En los casos en los que lo considere necesario, el astrónomo residente podrá respaldar datos de manera adicional en el disco secundario de *Muffin* (i.e. *“oldimages”*) al menos hasta que se garantice que los datos transportados en el disco portátil han sido debidamente descargados en su destino final.

14. CIENCIA CON OPTICAM

OPTICAM es un instrumento que permite realizar observaciones astronómicas en tres canales ópticos de manera completamente simultánea, con alta resolución temporal. Para ello, utiliza cámaras astronómicas sCMOS Andor Zyla 4.2-Plus USB3.0, altamente sensibles y con tiempos muertos entre adquisiciones prácticamente despreciables. Aunque OPTICAM fue originalmente diseñado para estudiar sistemas binarios de rayos X, estrellas eruptivas (*flaring stars*) y estrellas cataclísmicas, sus capacidades lo convierten en un instrumento de uso general, apto también para el análisis de variabilidad en binarias eclipsantes, blázares, cuásares, exoplanetas y cúmulos abiertos. En [1] se discuten en mayor detalle estos casos científicos potenciales con OPTICAM, mientras que en [6] se presentan algunas de las primeras observaciones realizadas durante la puesta en marcha (*commissioning*) en el OAN-SPM, junto con la configuración instrumental de OPTICAM. Las Figuras 23 y 24 muestran ejemplos de observaciones obtenidas con tiempos de exposición de entre 1 y 5 segundos, a lo largo de varias horas de observación, por parte de nuestros colegas Raúl Michel, Ángel Castro, Liliana Altamirano y David Rojas.

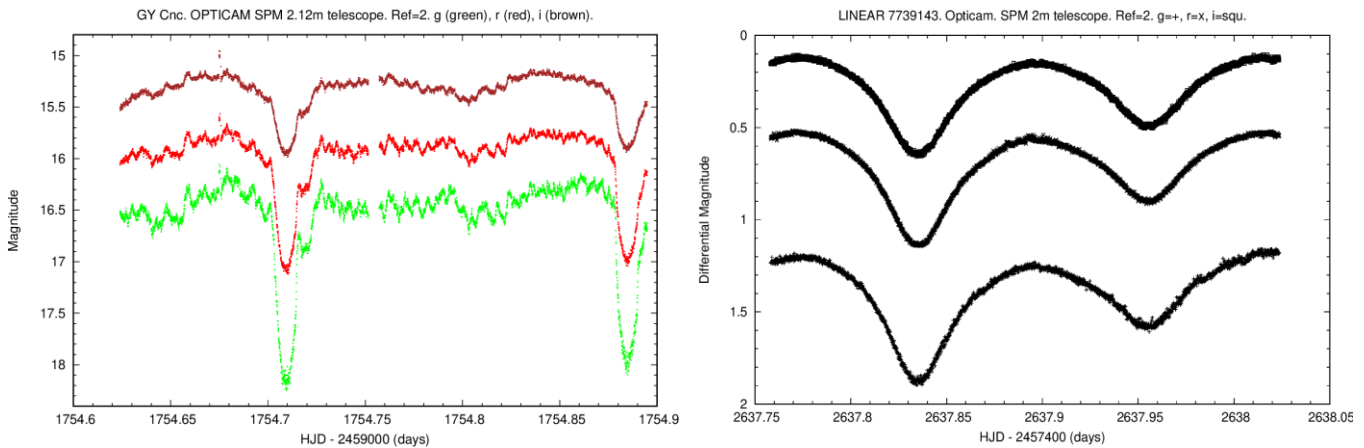


Figura 23: Curvas de luz de la estrella binaria cataclísmica *GY Cnc* (izquierda) y la binaria *LINEAR 7739143* (derecha) obtenidas con OPTICAM.

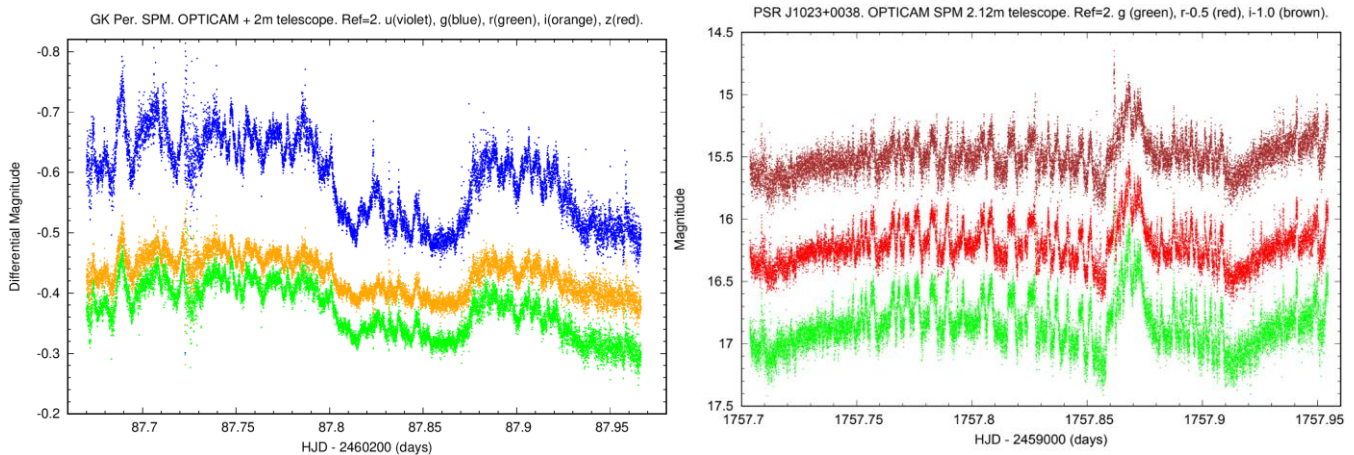


Figura 24: Curvas de luz de la estrella binaria cataclísmica *GK Per* (izquierda) y el pulsar *PSR J1023+0038* (derecha) obtenidas con OPTICAM.

15. AGRADECIMIENTOS

La construcción de OPTICAM fue posible gracias al apoyo económico de University of Southampton, National Astronomical Observatories of China, y el Instituto de Astronomía de la UNAM en los términos de la colaboración descrita en el Memorandum of Understanding UNAM/DGAJ-DPI-260919-717. Para realizar la presente versión del Manual de Usuario de OPTICAM se tomó en cuenta la experiencia adquirida por el grupo de colaboradores y la retroalimentación recibida por parte de usuarios. Se agradece a Felipe Montalvo, Hortensia Riesgo, Gustavo Melgoza y Francisco Guillén el apoyo prestado durante las diversas campañas de ingeniería y posterior puesta a punto del instrumento en el OAN-SPM.

16. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Castro, D. Altamirano, R. Michel, P. Gandhi, J. V. Hernández Santisteban, J. Echevarría, C. Tejada, C. Knig- ge, G. Sierra, E. Colorado, J. Hernández-Landa, D. Whiter, M. Middleton, B. García, G. Guisa, and N. Castro- Segura. OPTICAM: A Triple-Camera Optical System Designed to Explore the Fastest Timescales in Astronomy. *RMxAA*, 55:363–376, octubre 2019.
- [2] C. Tejada and R. Michel, OPTICAM: Diseño óptico. Reporte Técnico RT-2020-03, julio 2022.
- [3] C. Tejada and R. Michel. Pruebas Ópticas de los Objetivos de OPTICAM. Reporte Técnico CI-2020-03, mayo 2022.
- [4] E. Colorado, A. Landa, I. Zavala, A. Castro, B. García, J. Valenzuela, L. Ortiz, G. Guisa, G. Sierra, J. Herrera, and R. Michel. PTI-OAN:0010: Procedimiento de instalación del instrumento OPTICAM en el telescopio de 2.1 m. RT-2020-03: OPTICAM: Diseño óptico, julio 2022.
- [5] A. Castro, I. Zavala, E. Colorado, J. Herrera, N. Castro Segura, R. Michel, D. Altamirano, L. Altamirano-Dévora, G. Sierra, J. Echevarría, J. Hernández, J. Landa, OPTICAM triple-channel astronomical image acquisition control software and external triggering synchronization system, *Astronomy and Computing*, enero 2024.
- [6] A. Castro, R. Michel, N. Castro Segura, D. Altamirano, C. Tejada, J. Herrera, E. Colorado, G. Sierra, L. Altamirano-Dévora, J. Echevarría, R. Sloom, R. Wijnands, I. Zavala, et al., First light simultaneous triple-channel observations of the OPTICAM system at the OAN-SPM, *NewAST*, 112:102262, junio 2024.

