Fecha de envío a CEPTIAUNAM:
aaaa/mm/dd

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, Tomás 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. Introducción....2
2. Observando con OPTICAM....6
3. Ejecución del programa de control de adquisición de imágenes y el programa de la GUI....12
4. Inicialización de las cámaras....13
5. Descripción básica de la GUI....14
6. Visualización con SAO-DS9....19
7. Reinicio de la PC de OPTICAM....20
8. Apagado de la PC de OPTICAM....20
9. Intercambiador manual de filtros....21
10. Enfriamiento termoeléctrico (modelo refrigerado por aire)....22
11. Almacenamiento y transferencia de datos....23
    11.1. Almacenamiento y transferencia....23
    11.2. Respaldo de datos....24
        11.2.1. Respaldo en disco portátil....24
        11.2.2. Respaldo en servidor....26
12. Cable USB 3.0 de la cámara Andor Zyla 4.2-Plus....27
13. Agradecimientos....27

1. Introducción

OPTICAM [1] es un sistema óptico de alta velocidad diseñado para realizar fotometría rápida de tres canales de forma simultánea. OPTICAM (véase Figura 1) 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 $320<\lambda[\text{nm}]<1100$. Las curvas de transmisión de este conjunto de filtros se muestra en la Figura 3/izquierda. OPTICAM es montado 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, respectivamente) 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. La adquisición de imágenes se realiza mediante el uso de tres modernas cámaras Andor Zyla 4.2-P de 2048x2048 píxeles, las cuales observan la misma porción del cielo de tamaño aproximado 5 x 5 arcmin^2. Los tamaños exactos de los campos de visión (FoV, por sus siglas en inglés) de cada cámara se presentan en la Tabla 1.

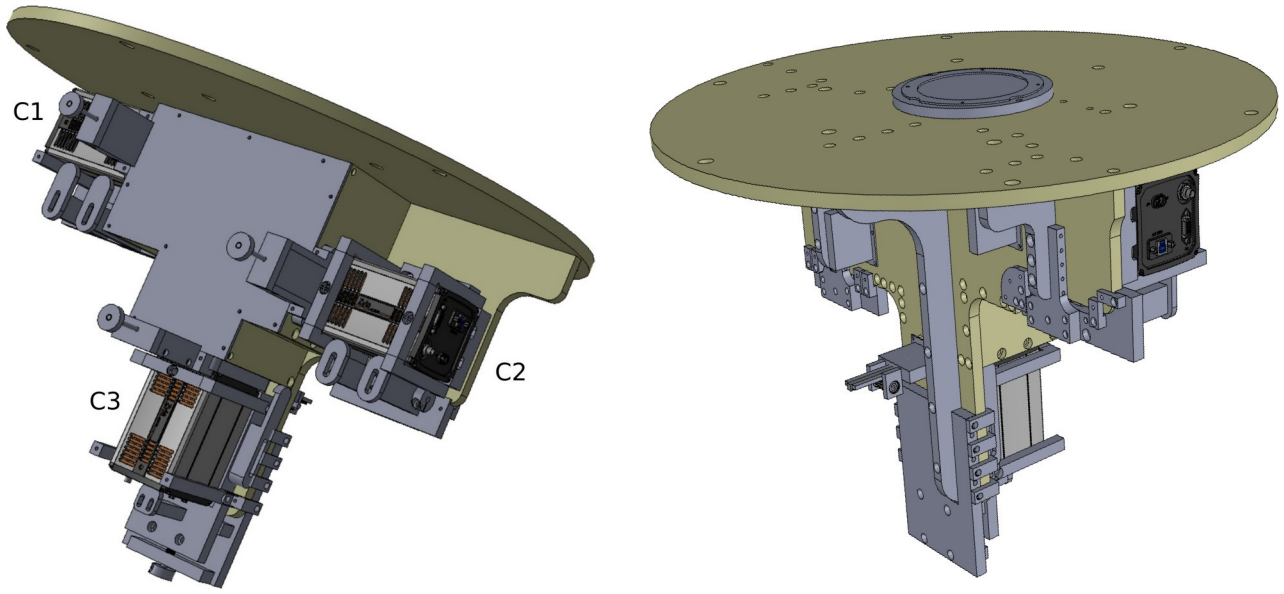


***Figura 1**: Representación gráfica tridimensional generada con el programa de diseño asistido SolidWorks del instrumento OPTICAM. **Izquierda**: Vista frontal del instrumento. En esta perspectiva es posible observar las tres cámaras Andor Zyla 4.2-P empleadas en el instrumento (C1, C2 y C3, respectivamente). Los elementos ópticos del sistema se encuentran contenidos dentro de la sección central del mecanismo. **Derecha:** Vista anterior 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 imagen: Gerardo Sierra.*

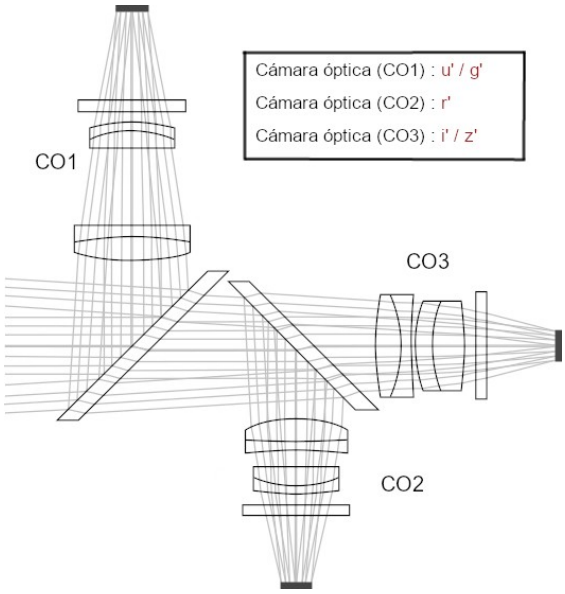


***Figura 2**: Trazo de rayos del diseño óptico de OPTICAM. Mediante el uso de 2 dicroicos, el instrumento permite la observación de objetos astrofísicos de manera completamente simultánea a través de sus 3 cámaras ópticas (aquí denominadas también CO1, CO2 y CO3; en referencias futuras se denominará "cámara" a los detectores astronómicos Andor sCMOS Zyla 4.2-P). La luz finalmente incide sobre los respectivos detectores astronómicos ubicados en el extremo de cada brazo. Crédito de imagen: Carlos Tejada & Joel Herrera.*

En la Tabla 2 se muestran las especificaciones técnicas de las cámaras Andor Zyla 4.2-P, mientras que en la Figura 3/derecha se presenta la curva de eficiencia cuántica (QE) del detector de las cámaras. La transferencia total del instrumento (throughput) se muestra en la Figura 4/derecha. Para obtener esta curva tomaron en cuenta los efectos del detector, los filtros, los dicroicos, el conjunto de lentes, así como los espejos primario y secundario del telescopio de 2.1 m. 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) permite su monitoreo, ambos desarrollados específicamente para este proyecto. El diseño original del sistema óptico de OPTICAM fue presentado en [4], 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 (IA-UNAM; 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 rango 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). Las especificaciones técnicas de las tres cámaras científicas CMOS Andor Zyla 4.2-Plus USB 3.0 utilizadas en OPTICAM se presentan en la Tabla 3.

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

Tabla 1*: Field-of-view (FoV) de OPTICAM en el telescopio de 2.1 m. 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 rango 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 (e.g. estrellas binarias en rayos X, variables cataclísmicas, binarias eclipsantes, ocultaciones estelares, flaring stars).

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

Tabla 2*: Especificaciones técnicas de las cámaras Andor Zyla 4.2-P. 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.*

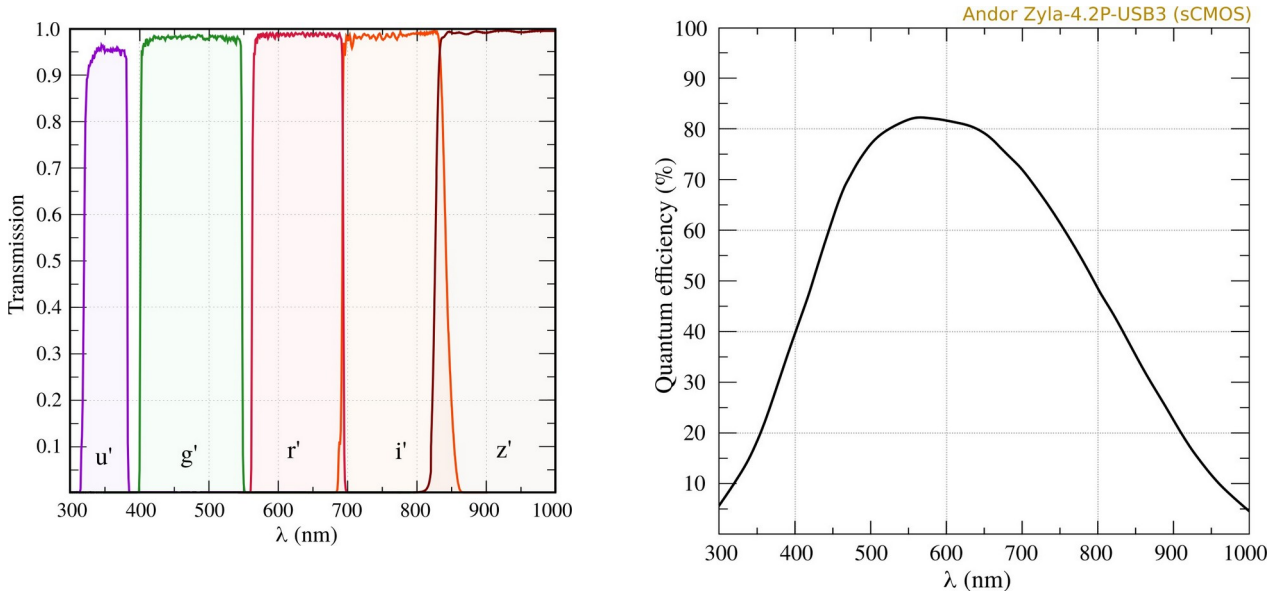


***Figura 3**: Transmisión del juego de filtros Astrodon Gen2 SDSS (**izquierda**) y eficiencia cuántica del detector de la cámara Andor Zyla 4.2-P (**derecha**).*

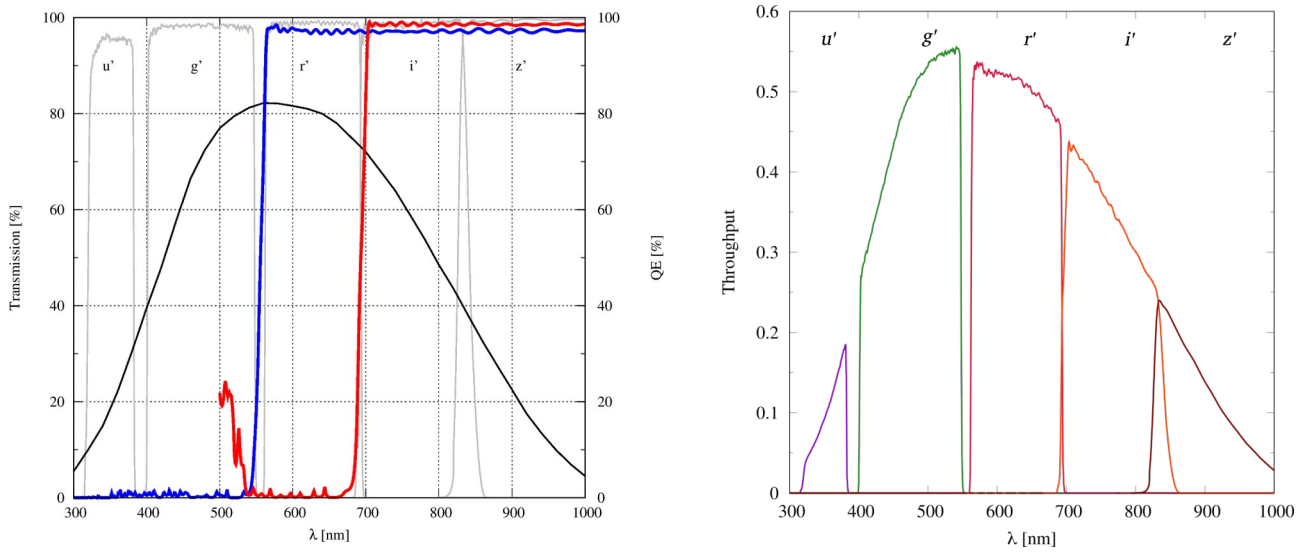


***Figura 4**: **Izquierda**: Curvas de transmisión del dicroico D1 (línea color azul) y el dicroico D2 (línea color rojo), superpuestas sobre la eficiencia cuántica (QE; línea continua color negro) del detector de la cámara Andor Zyla 4.2-Plus USB 3.0 y las transmisiones de los filtros SDSS (lineas 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.*

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 (μm)	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

***Tabla 3**: Especificaciones técnicas de las tres cámaras científicas CMOS Andor Zyla 4.2-Plus USB 3.0 utilizadas en OPTICAM. 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 listan los procesos básicos para llevar a cabo observaciones con el instrumento OPTICAM. Para los fines del presente documento, se considerará como usuario 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" [2] han sido debidamente completados.

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 la colocación de la antena GPS de OPTICAM, la cual deberá contar con línea de vista a la red satelital en todo momento, es decir, la antena deberá localizarse en un sitio a cielo abierto que le permita obtener actualizaciones de varios satélites de la red global, simultáneamente.

***Figura 5**: 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. Recientemente se ha adquirido un nuevo modelo de antena receptora, la cual será instalada en una nueva locación de maneja fija.*

2. **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 6/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 6/derecha).

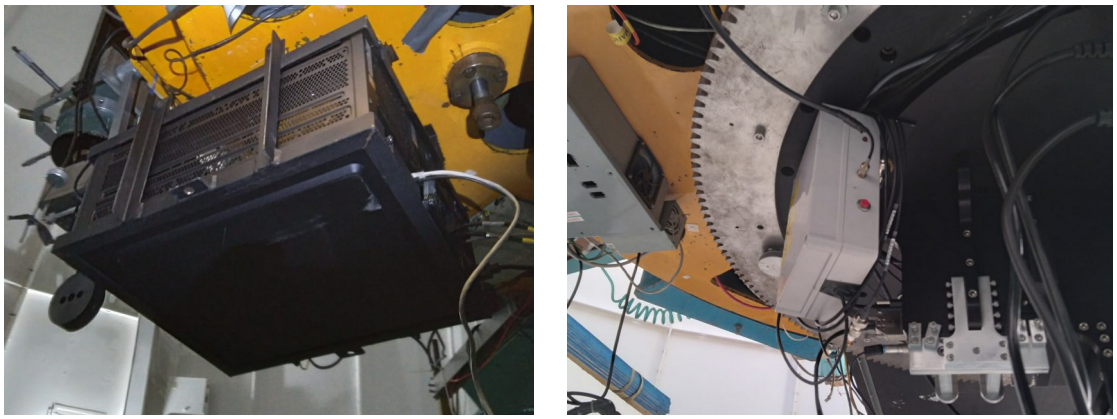


***Figura 6: Izquierda**: PC de OPTICAM (denominada MUFFIN) y su ubicación junto a la platina del telescopio. **Derecha:** Módulo de temporización externo de OPTICAM.*

3. **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 7 se muestra la ubicación de este interruptor con la etiqueta 'ON/OFF switch'.

***Figura 7**: 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.*

4. **Lanzamiento de interfaz VNC**. OPTICAM opera de manera remota desde la PC SONAJA de cuarto de observación de telescopio de 2.1 m del OAN-SPM. Para lazar la interfaz remota presione el ícono titutlado "Opticam" en la carpeta de INSTRUMENTOS de SONAJA. El IP asociado a OPTICAM es 192.168.0.35 y deberá ser reconocido 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'
5. **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 haya establecido coexión vía VNC con la PC MUFFIN deberá, ejecutar los programas de OPTICAM. Para ello, es necesario abrir dos terminales. Primero, una terminal para arrancar el programa de control de adquisición de imágenes, mediante el la instrucción **`opticam_init`**:

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

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

Y segundo, una terminal para la abrir la GUI con la instrucción **`opticam_gui`**:

```
(opticam) 192.168.0.35 – Konsole – Ventana 2: Ejecución de GUI

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

Se recomienda mantener estas dos terminales en primer plano para el monitoreo de potenciales mensajes de error del software, y abrir una tercera ventana para para acceso ocasional al sistema de archivos.

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.

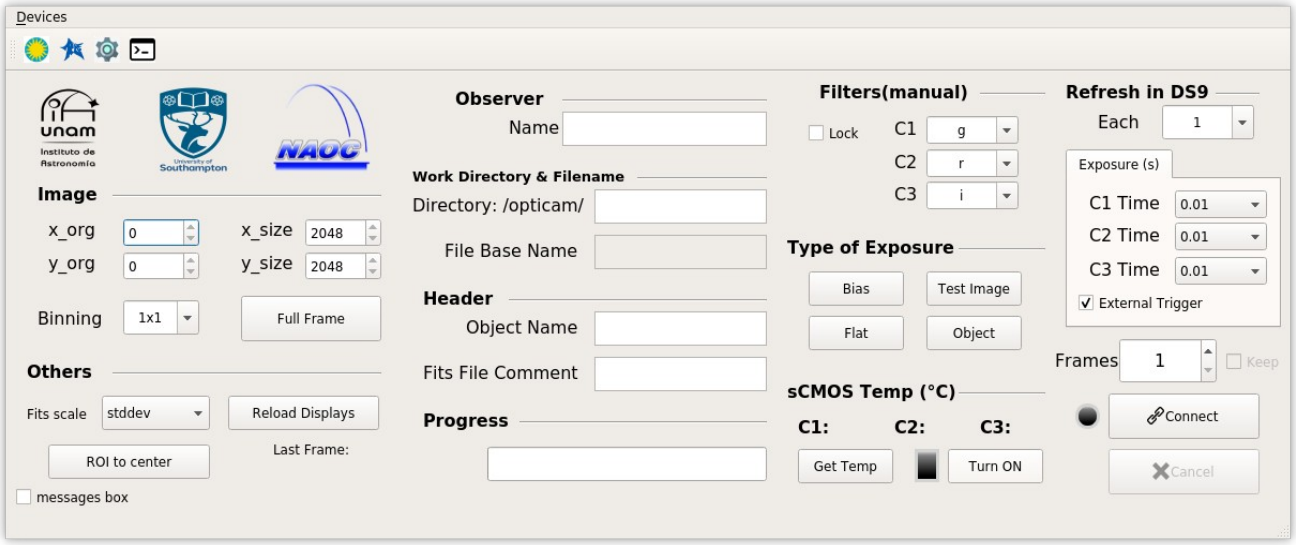
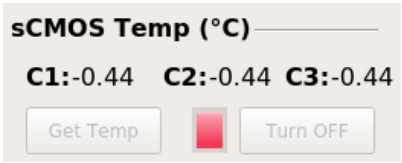


***Figura 8**: Interfaz gráfica de usuario (GUI) de OPTICAM una vez iniciada, la cual muestra solamente los valores y parámetros predeterminados.*

6. **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 se 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. En dicha tabla los valores del parámetro "camera status" (véase Sección 4) 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:



7. **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 diferente botones y campos de la GUI. **El tiempo de exposición máximo de las cámaras Andor Zyla 4.2-P 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**.

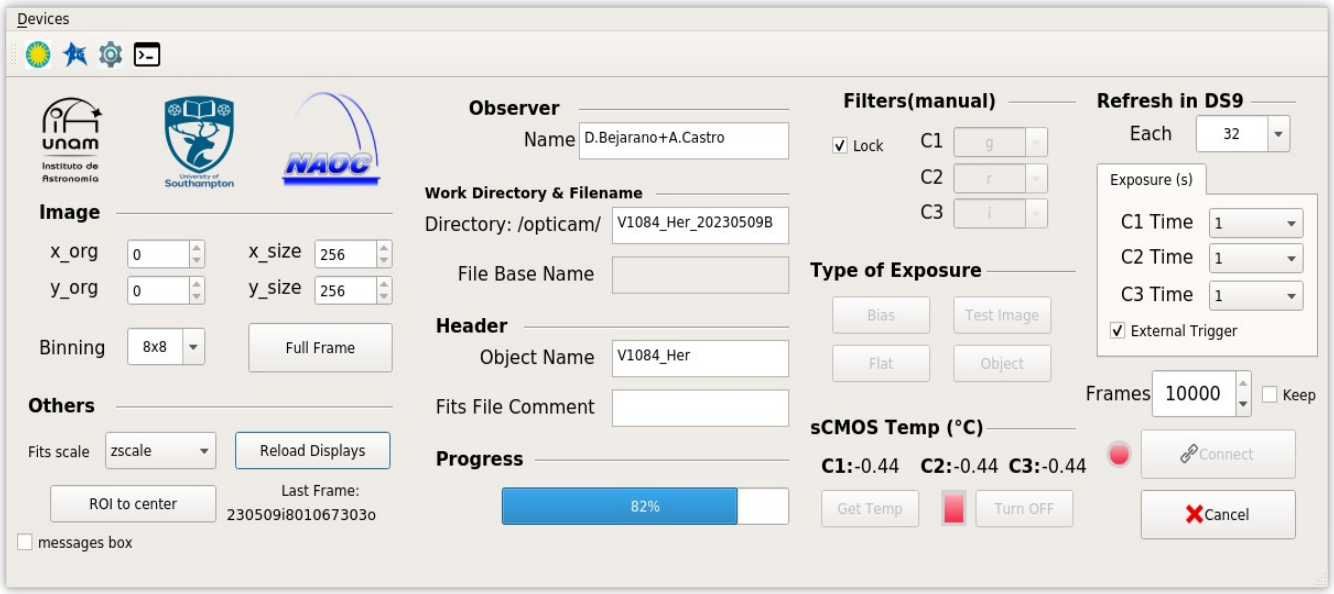
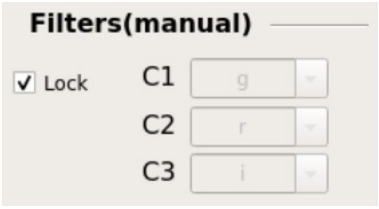


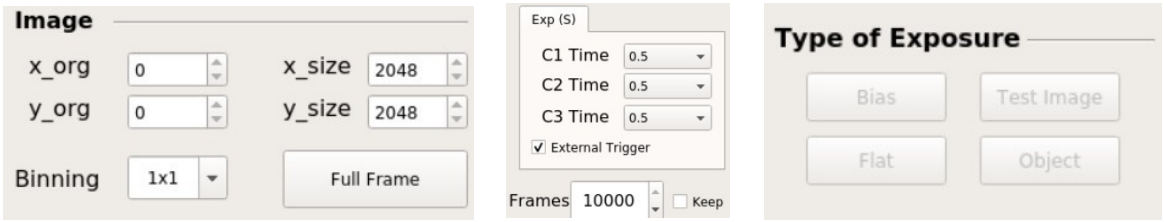
***Figura 9**: Descripción de la GUI de OPTICAM. Esta interfaz permite al usuario definir los parámetros de observación de los campos a observar, mismos que son enviados al programa de control de adquisición de imágenes.*

8. **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:



9. **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. El usuario debe verificar que la tasa de actualización de imágenes en SAO-DS9 sea aceptable con respecto la propia tasa de adquisición de imágenes. Es decir, que no se despliega demasiado rápido, particularmente cuando se emplean altas tasas de adquisición, en cuyo caso el tiempo entre despliegues consecutivos no daría tiempo suficiente al usuario para verificar sus propias observaciones. Más detalle sobre esto en la Sección 5.

10. **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 subdirectorio específico ingrese el nombre de dicho subdirectorio en el campo apropiado. Antes de iniciar la secuencia de objetos verifique que los parámetros básicos de observación han sido debidamente indicados:



11. **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.

12. **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 3).

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%.

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.

3. Ejecución del programa de control de adquisición de imágenes y el programa 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 3). 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)
        Ivan  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 Interface 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 8. 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 10:

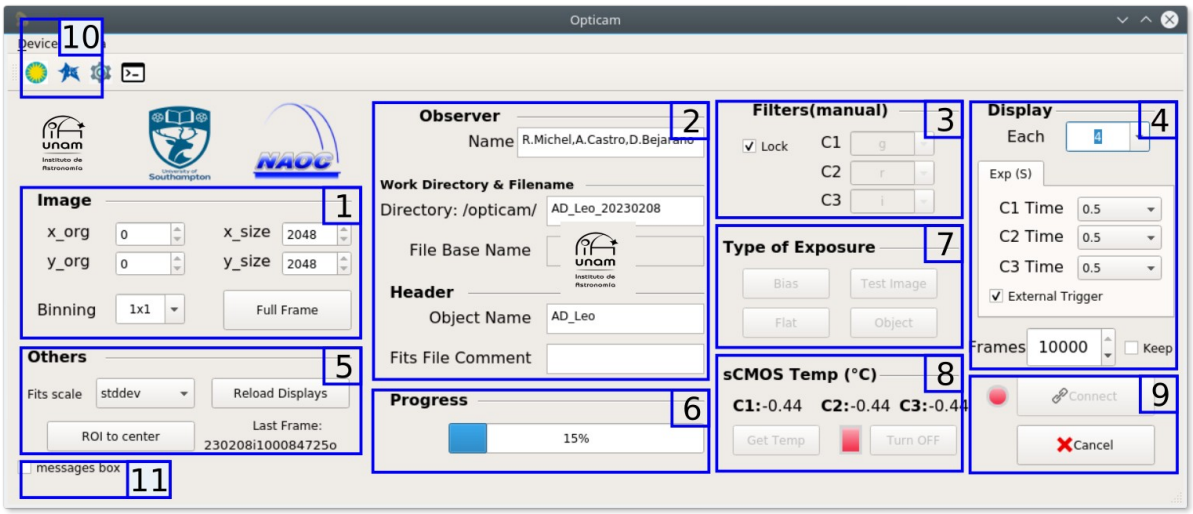


***Figura 10**: Descripción de la interfaz gráfica del usuario (GUI) de OPTICAM. Permite al usuario definir los parámetros de observación para los campos observados, los cuales son enviados al programa de control de adquisición de imágenes.*

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, la cajita 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**. La opción "Each" permite definir cada cuántas imágenes se actualizará la ventana de desplieguen de la GUI. 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 "Frames"), 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**. La cajita de selección de disparo externo "External Trigger" está seleccionada 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 cuando 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 externo (véase [2]) 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. **El observador deberá tomar en cuenta las limitaciones descritas en la Tabla 3**. En dicha tabla se muestran las tasas máximas de adquisición de imágenes (en unidades de frames-per-second [fps]) y velocidades de transferencia máximas sostenibles (Megabytes per second [Mb/s]) para varias matrices de píxeles. Las siglas BTR corresponden al término "Byte-based Transfer Rate". En la actual versión del software, la opción de 16-bit es precargada por defecto y será habilitada para el usuario en una próxima versión.

- **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 11) 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 o

directamente a Iván Zavala. 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 obscuridad, 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 mandatarios.

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: Evite tiempos de exposición inferiores a 1 segundo con la presente versión de software de OPTICAM (Marzo 24, 2025). Esto, debido a un problema de hardware que experimenta el sistema y que nos encontramos atendiendo.

NOTA 5: 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 experimentado problemas técnicos (Marzo 24, 2025) asociadas a la conexión de estos dispositivos. Para copiar sus datos, siga el procidiemto descrito en la Sección

NOTA 6: No usar la opción 'keep'en la GUI. Se encuentra deshabilitada (Marzo 24, 2025) 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 11). Las imágenes se muestran rotadas por software de manera que el norte esté arriba y el este, a la izquierda.

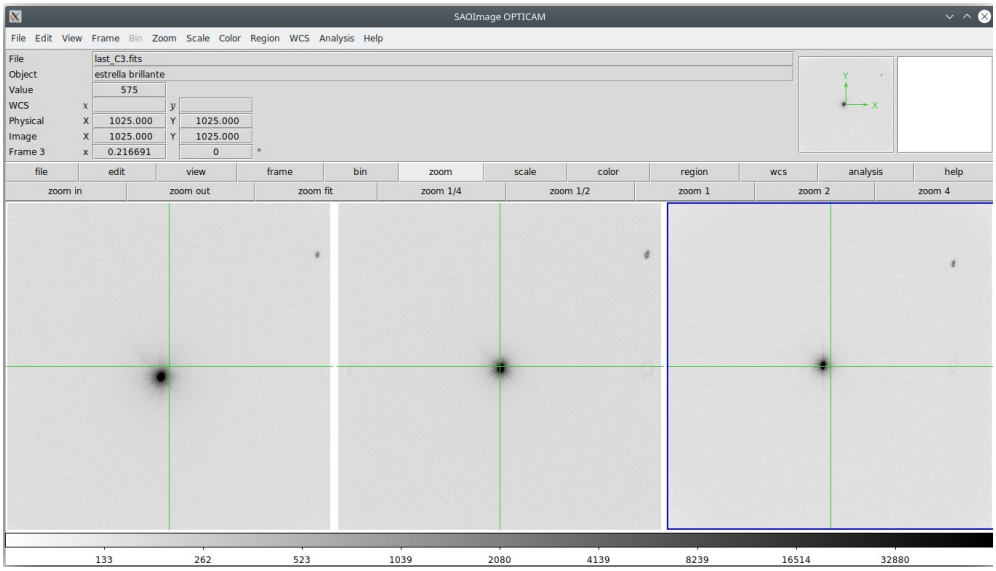


***Figura 11**: Ventana de visualización de imágenes con SAO-DS9. Se muestran de forma simultánea las imágenes adquiridas por los tres canales de OPTICAM. A la izquierda la imagen de la cámara 1 (C1), al centro la imagen de la cámara 2 (C2) y a la derecha la imagen de la cámara 3 (C3). Las imágenes mostradas 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 del mismo. 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 a 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 y otras funciones de configuración. Sin embargo, estos íconos no se encuentran totalmente habilitados. Esto se resolverá en el corto plazo en una próxima versión del programa de OPTICAM.

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). 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
```

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 serrá 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, 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
```

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

Los filtros de OPTICAM requieren ser colocados de forma manual, mediante el desplazamiento de la "bayoneta" del intercambiador de filtros (Figura 14/izquierda) a las posiciones y filtros descritas en la Tabla 4 y Figura 14/derecha, respectivamente. El usuario deberá ser sumamente cuidadoso de actualizar apropiadamente la configuración de filtros mostrada 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 nombres de los filtros en el menú de selección respectivo no pueden ser cambiados por los usuarios. El juego de filtros Astrodon Gen2 SDSS (Figura 3) de OPTICAM se encuentra colocado de manera permanente y ningún filtro deberá ser removido sin justificación o sin el consentimiento expreso del PI del instrumento, el Dr. Raúl Michel.

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

***Tabla 4**: Configuración de filtros de OPTICAM. El instrumento cuenta con tres diferentes brazos, cada uno de ellos con una cámara astronómica Andor Zyla 4.2-PLUS USB 3.0 asignada. Los filtros requieren ser colocados desplazando manualmente la bayoneta del intercambiador de filtros a las posiciones descritas en la Figura 14 (izquierda) de tal manera que el filtro deseado sea colocado sobre la trayectoria óptica del brazo respectivo. La distribución de filtros colocados en cada bayoneta se ilustra en la Figura 14 (derecha).*

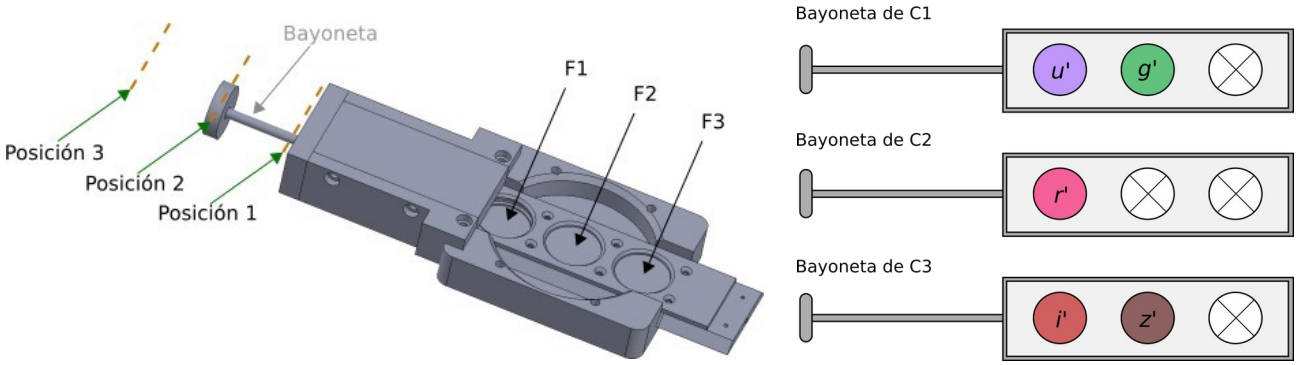


***Figura 13**: **Izquierda**: Intercambiador de filtros manual de OPTICAM. Se usa una bayoneta para colocar de forma manual el filtro deseado. Deberá jalar la perilla de la bayoneta para colocar el filtro de acuerdo a lo descrito en la Tabla 4. El equipo de colaboradores de OPTICAM se encuentra actualmente trabajando en el desarrollo y construcción de un mecanismo de posicionamiento automatizado de los filtros. **Derecha**: Distribución de filtros en las bayonetas de los intercambiadores correspondientes a las cámaras C1, C2 y C3, respectivamente.*

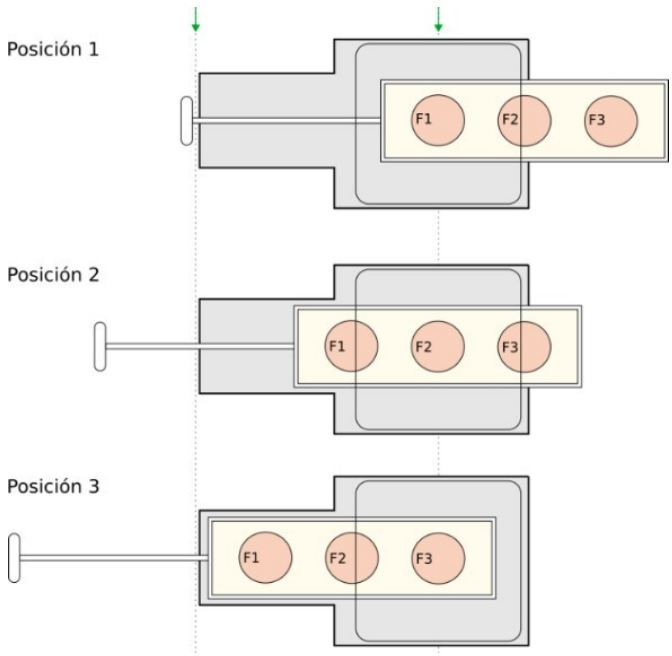


***Figura 14**: Diagrama esquemático del funcionamiento básico del sistema intercambiador de filtros de OPTICAM. Los filtros son manualmente desplazados a la posición deseada, de tal forma que el filtro seleccionado es colocado frente a la cámara astronómica respectiva. Para conocer el filtro específico 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 TE 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). **Fuente**: Hardware Guide Zyla sCMOS Version 1.7 rev 03 Feb 2015.

En el caso de los detectores Andor Zyla 4.2-P USB 3.0 empleados por OPTICAM, el valor típico de temperatura se ubica entre -0.5° y 0.0° 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 cuando las cámaras no se encuentran adquiriendo imágenes al presionar el botón "Turn OFF" de la GUI.

Cuando el enfriamiento activo se encuentra deshabilitado, las cámaras operarán a una temperatura de $\sim 20^{\circ}$ 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. Estos accesorios solo podrán ser manipulados por el 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 (véase Figura 15), 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 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 12.2) en caso de ser necesario, tomando en cuenta la cantidad de datos que planea generar durante su temporada de observación.

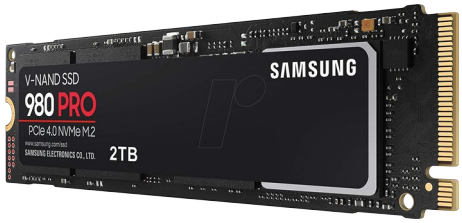


***Figura 15**: Disco duro primario de la PC de OPTICAM. Los programas de control de adquisición de imágenes y la GUI son contenidos y ejecutados en este disco. Las imágenes de triple canal adquiridas por OPTICAM son almacenadas directamente en este disco.*

La PC de OPTICAM (MUFFIN) cuenta también con un segundo disco de estado sólido de 8 TB (montado en "/oldimages"),

al cual los datos pueden ser transferidos de manera temporal antes de ser respaldados en un disco duro de estado sólido portátil (e.g. Figura 21) para ser enviados a Ensenada u otro destino.

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 su datos, estos deberán ser transferidos primero al servidor de datos NAS-OPTICAM (Fig. 15; ver proceso en Sec. 11.2.1) y posteriormente copie sus datos desde el NAS a su disco portátil, el cual deberá conectarse directamente el 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.

***Figura 15**: 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 del observación del telescopio de 2.1 m). Consiste de ejecutar un script en el cual se indica la 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.

(Konsole – Respaldo de imágenes en el servidor NAS-OPTICAM

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 el password 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 21 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). Podría experimentar problemas con formatos Mac.

***Figura 16**: 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:

(Konsole – Respaldo de imágenes en el servidor NAS-OPTICAM

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 copia

Se sugiere mantener también los datos de la última temporada almacenados 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.

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 copiado 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 Dr. R. Michel.

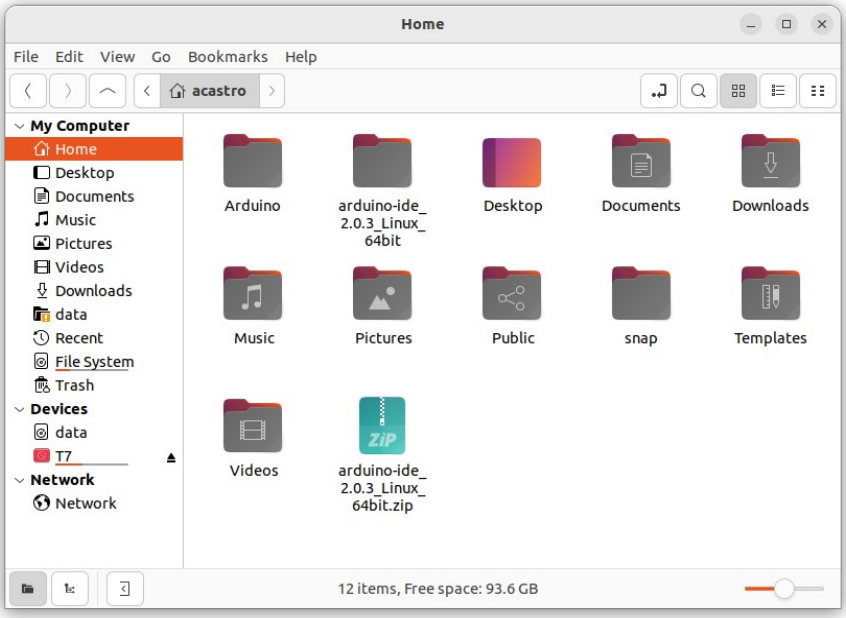


***Figura 19**: Uso de la aplicación Nemo como navegador de archivos. Los datos deberán primero ser copiados a un disco portátil y luego podrán transferirse a un servidor externo. Sin embargo, estas transferencias no deberán realizarse desde el OAN-SPM, salvo en casos excepcionales, siempre que estos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

disponible en el Observatorio.

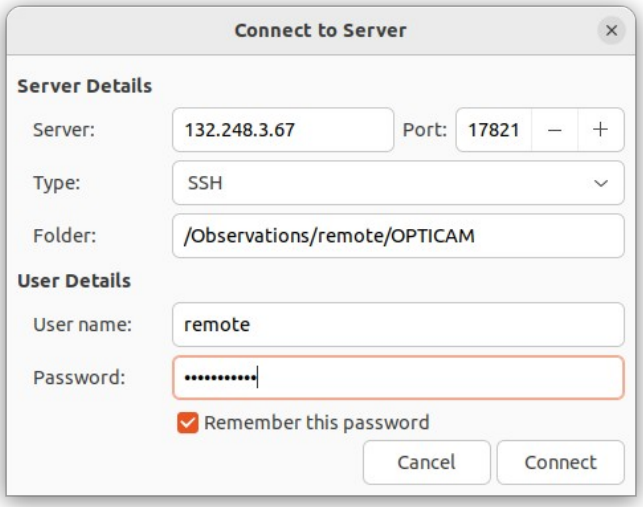


***Figura 20**: Configuración de servidor externo para transferencia de datos empleando el navegador de archivos 'Nemo'. OPTICAM no cuenta con conexión a red externa. Se recomienda que las trasferencias se realicen directamente desde su computadora personal.*

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 (SUB 3.0 superspeed A male to B male screw lock cable). 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-P a la respectiva tarjeta controladora de puertos de la PC cuente con las características de transmisión requeridas.*

13. Agradeciemientos

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. Se agradece a Felipe Montalvo, Hortensia Riesgo, Gustavo Melgoza y Francisco Guillén el apoyo prestado durante las diversas campañas de ingeniería y posterior comisionamiento del instrumento en el OAN-SPM.

14. Referencias

[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] 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 2.1m. RT-2020-03: OPTICAM: Diseño óptico*, julio 2022.

[3] C. Tejada and R. Michel. Pruebas Ópticas de los Objetivos de OPTICAM. Reporte Técnico CI-2020-03, mayo 2022.

[4] C. Tejada and R. Michel, OPTICAM: Diseño óptico. Reporte Técnico RT-2020-03, julio 2022.

[5] A. Castro, I. Zavala, E. Colorado, J. Herrera, N. Castro Seguram 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