

# **Manual de Usuario de la Cámara FLI para POLIMA**

**Versión 1.03**

**11 de Agosto de 2011**

**David Hiriart, Enrique Colorado, Francisco Lazo, Jorge Valdez y Gerardo Guisa**

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

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. PROGRAMA DE MANEJO .....	6
2.1 IMÁGENES SIN PROCESAR DE LA CÁMARA FLI .....	10
3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	11
4. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.....	13
5. MONTURA MECÁNICA.....	15
5.1 CÁMARA FLI+POLIMA.....	15
5.2 CÁMARA FLI+MEXMAN.....	18
6. CONCLUSIONES.....	21
APÉNDICE A.....	22
APÉNDICE B.....	24
APÉNDICE C.....	29

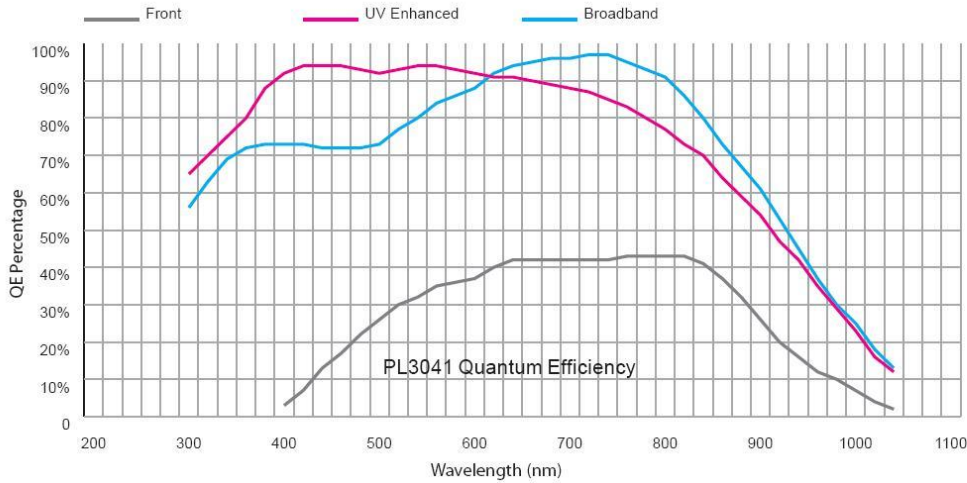
## 1. INTRODUCCIÓN

En este reporte presentamos los resultados de la evaluación a la cámara *Finger Lakes Instruments* (FLI), su programa de control, el sistema de enfriamiento por líquido y la manera de montarlo en el telescopio de 84cm con el polarímetro de imagen POLIMA y la rueda de filtros MEXMAN del OAN-SPM.

La Figura 1 muestra una imagen de la cámara FLI. Ésta es una cámara tipo CCD de la serie ProLine de la compañía *Finger Lakes Instruments*. La cámara está basada en un detector CCD Fairchild F3041, *back-illuminated*, de 2048x2048 pixeles con dimensiones de 15x15 $\mu$ m en cada pixel. La Figura 2 muestra la curva de eficiencia cuántica del detector en función de la longitud de onda.



**Figura 1.-** La cámara FLI del OAN-SPM. Los conectores eléctricos se muestran al frente y los conectores del sistema de enfriamiento por líquido se encuentran en la parte posterior.



**Figura 2.-** Curva de eficiencia cuántica en porcentaje, (*QE Percentage*), en función de la longitud de onda, (*Wavelength*). El CCD de la cámara FLI del OAN-SPM tiene la opción *UV Enhanced* que mejora su respuesta en el ultra violeta.

EL CCD de la cámara FLI es enfriado por un sistema termoeléctrico. La programación de control del fabricante permite fijar una temperatura mínima de enfriamiento del CCD de  $-50^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, el sistema sólo puede alcanzar hasta  $50^{\circ}\text{C}$  por debajo de la temperatura ambiente. **Por las condiciones climáticas del OAN-SPM, se recomienda utilizar una temperatura de operación del CCD de  $-30^{\circ}\text{C}$ .** Esto garantiza que el sistema de control pueda mantener la temperatura del CCD en el intervalo indicado por el fabricante ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ). Para remover el calor del sistema termoeléctrico se hace uso de líquido refrigerante. Por el momento, el líquido utilizado es agua que se hace circular desde un recipiente contenedor a la cámara por medio de una bomba centrífuga externa al tanque de almacenamiento (ver Figura 11). La tasa de enfriamiento del sistema termoeléctrico está limitada de fábrica a  $-10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , por lo que para alcanzar una temperatura de operación de  $50^{\circ}\text{C}$  por debajo de la temperatura ambiente tomará entre 5 y 6 minutos, pero es conveniente esperar un poco más para lograr la estabilidad térmica. El cuerpo de la cámara no tiene la capacidad de hacer el vacío; en la fábrica, el recinto fue purgado y se llenó de un gas inerte. También tiene instalado en su interior un elemento secante.

La corriente oscura típica medida fue  $\sim 0.5 \text{ e}^-/\text{pixel}/\text{seg}$ . @  $-30^{\circ}\text{C}$  y la distribución del ruido es aleatoria. Los histogramas del *bias* son de tipo gaussiano distribuidos alrededor de su valor medio. Las características generales de la cámara FLI del OAN-SPM se resumen en la Tabla 1. La características proporcionadas por el fabricante se encuentran en el Apéndice A.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CÁMARA FLI DEL OAN**

Sensor	CCD3041
Tamaño del Arreglo del CCD	2048 x 2048 pixeles
Tamaño de Pixel	15x15 $\mu\text{m}$
Máximo Enfriamiento del CCD	-50° C debajo de la Temperatura Ambiente
Velocidad de Lectura @ 16-bit	500kHz y 2MHz (seleccionable)
Ruido de Lectura Típico	8 e- RMS @ 1 MHz
No linealidad	<1%
Estabilidad de la temperatura en el CCD	0.1° C
Condiciones de Operación	-30°C a 45°C (10% a 90% Humedad R.)
Compañía Fabricante del CCD	Fairchild
Grado del CCD	Estándar
Tipo de CCD	<i>Back Illuminated</i>
Color/Monocromo	Monocromo
Cantidad de Pixeles	4.2 x 10 <sup>6</sup> pixeles
Longitud Diagonal del CCD	43.4 mm
<i>Linear Full Well</i>	100,000 e-
Corriente oscura típica	~0.5 e-/pixel/seg. @ -30° C
<i>Anti Blooming</i>	No
Diámetro del obturador	65 mm
Aperturas del obturador garantizadas	1,000,000
Tipo de disparo de integración remoto	Estándar
Voltaje de operación del Sistema	12 VCD
Comunicación	USB 2.0
Dimensiones	157.48 x 157.48 x 96.52 mm

El CCD puede trabajar a velocidades de lectura seleccionable de 500 kHz y 2 MHz. Para una mayor velocidad de lectura, el CCD puede tener *binning* en renglones o columnas y puede ser leído en uno o dos canales. Así, la cámara FLI del OAN-SPM tiene tres modos de operación:

- **MODO 1:** Dos canales con 2 MHz de velocidad de lectura
- **MODO 2:** Un canal con 2 MHz de velocidad de lectura
- **MODO 3:** Un canal con 500 kHz de velocidad de lectura

Se recomienda utilizar el MODO 3 de operación ya que el ruido de lectura es menor.

Las características de ganancia y ruido especificadas por el fabricante en cada uno de estos modos se muestran en las Tablas 2, 3 y 4. Mediciones de *bias*, ganancia, ruido de lectura y corriente oscura fueron hechas nuevamente en las instalaciones del IAUNAM y concuerdan en un  $\pm 6\%$  a los valores reportados por el fabricante.

<b>Tabla 2. Características de Ganancia y Ruido para el MODO 1</b>	
<b>2MHz 2CH TOP</b>	
Conversion factor (gain):	1.13
Bias:	2908
Readout noise:	14.3 (e <sup>-</sup> )
Saturation:	70768.5 (e <sup>-</sup> )
100s Dark Current Growth:	10.3 ADU
<b>2MHz 2CH BOTTOM</b>	
Conversion factor (gain):	1.20
Bias:	2908
Readout noise:	14.06 (e <sup>-</sup> )
Saturation:	75152.4 (e <sup>-</sup> )
100s Dark Current Growth:	10.3 ADU

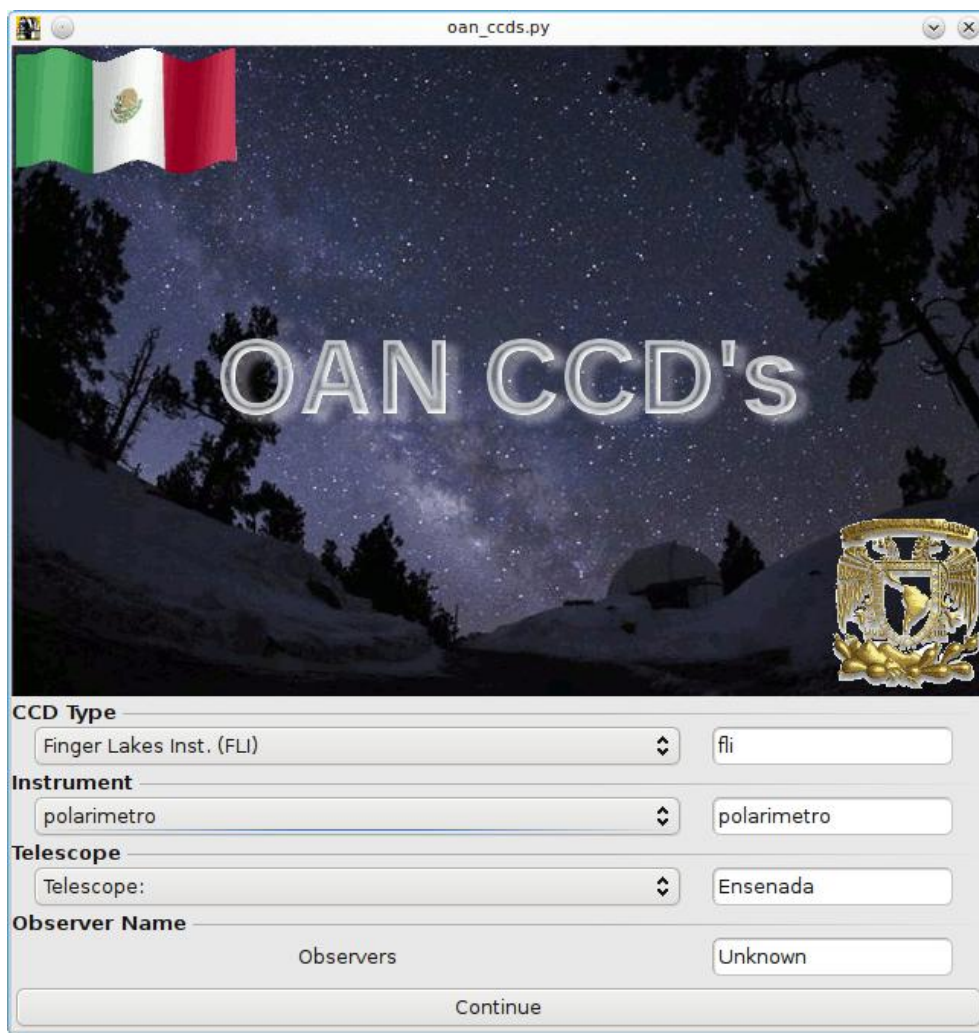
<b>Tabla 3. Características de Ganancia y Ruido para el MODO 2</b>	
<b>2MHz 1CH</b>	
Conversion factor (gain):	1.18
Bias:	865.8
Readout noise:	20.5 (e <sup>-</sup> )
Saturation:	76309.4 (e <sup>-</sup> )
100s Dark Current Growth:	5.6 ADU
Maximum Linearity Error:	0.083 (%)

<b>Tabla 4. Características de Ganancia y Ruido para el MODO 3</b>	
<b>500kHz 1CH</b>	
Conversion factor (gain):	1.38
Bias:	942.6
Readout noise:	13.4 (e <sup>-</sup> )
Saturation:	89137.0 (e <sup>-</sup> )
100s Dark Current Growth:	5.6 ADU
Maximum Linearity Error:	0.081 (%)

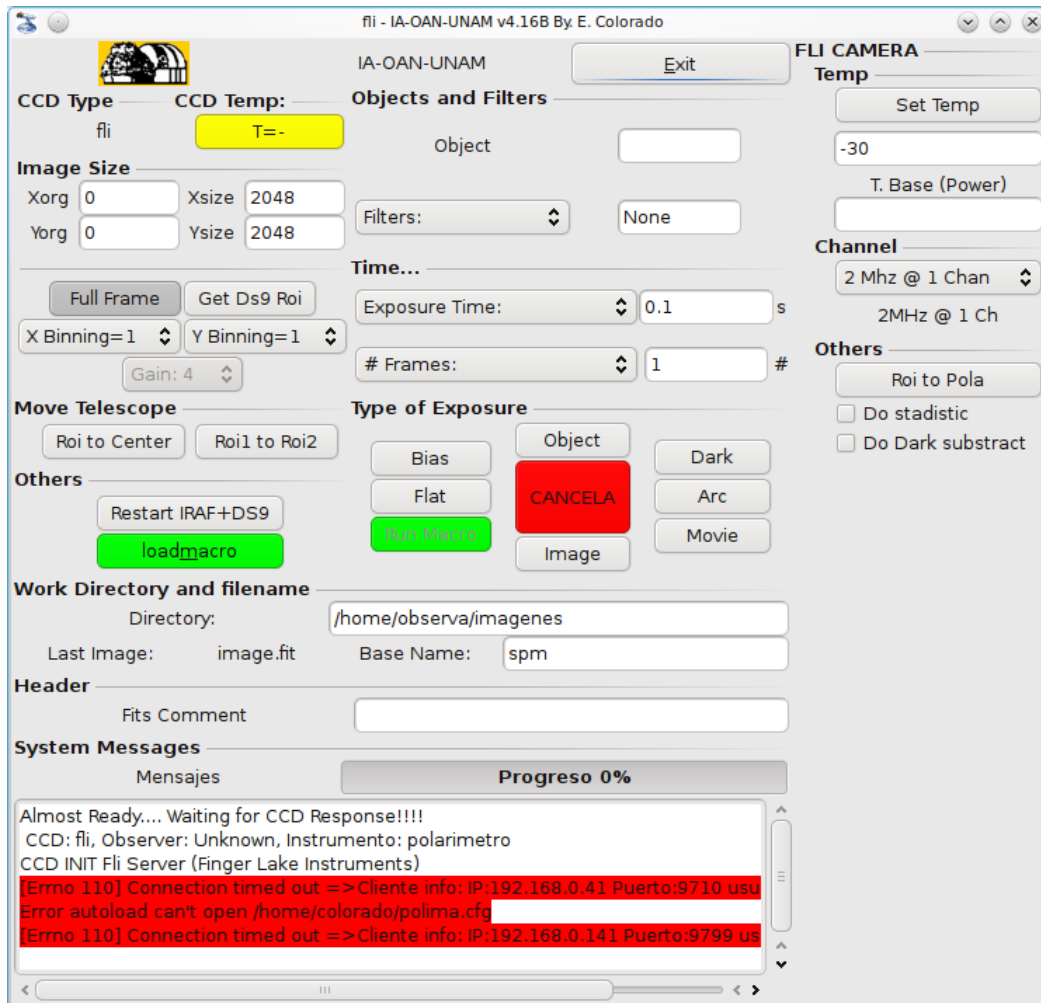
## 2. PROGRAMA DE MANEJO

El programa de control de la cámara FLI se encuentra contenido como una opción más del programa genérico de manejo de las cámaras del OAN-SPM. Este programa se inicia seleccionando el icono *python CCD* de la ventana *Instrumentacion*.

La Figura 3 muestra la portada inicial del programa de manejo de los CCDs del OAN-SPM. Una vez en este portal, en la sección **CCD Type** seleccionar *Finger Lakes Inst. (FLI)*. Luego, elegir el instrumento a utilizar **Instrument**; elegir telescopio adecuado en **Telescope**; dar el nombre del observador en **Observer Name**; y por último dar **Continue**. Los valores de estos parámetros serán utilizados en los valores respectivos de los encabezados en los archivos de las imágenes adquiridas. Además, iniciará la venta de interfaz gráfica correspondiente al instrumento seleccionado al dar **Continue**.



**Figura 4.** Portada inicial del programa de control de los CCD del OAN-SPM.



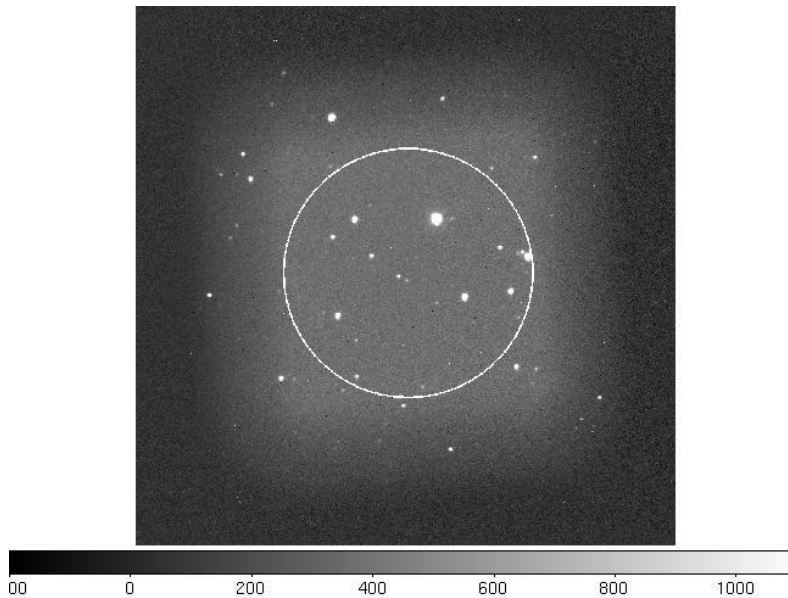
**Figura 5.** Interfaz grafica para el control de las cámaras con detector CCD del OAN que incluye las características únicas a la cámara FLI del OAN-SPM (lado derecho de la interfaz).

La Figura 5 muestra la ventana gráfica de control de las cámaras del OAN-SPM. La parte izquierda es común a todas las cámaras y la columna derecha es exclusiva de la cámara FLI. En la columna más a la derecha, en la sección **Temp** se fija la temperatura de operación del CCD: para ello debe de teclearse la temperatura, en grados centígrados, en la ventana debajo del botón **Set Temp** y luego oprimir ese botón usando el “ratón”. En la ventana inferior se mostrará la medición de la temperatura de la parte posterior de la etapa termoeléctrica que será aproximadamente la temperatura del líquido refrigerante que circula para enfriar el sistema. Además, en el mismo campo se presentará del porcentaje usado de la etapa termoeléctrica (su valor deberá estar entre el 70 y 80%). Los valores de todos estos parámetros son guardados en el encabezado de los archivos de las imágenes.



La sección **Channel** permite seleccionar uno de los tres modos de operación de la cámara FLI del OAN-SPM. Por último, la sección **Others** contiene las opciones: **Roi to Pola**, **Do stadistic** y **Do Dark subtract**. Antes de explicar cada una de estas opciones daremos unas explicaciones preliminares.

La Figura 6 muestra una imagen adquirida utilizando POLIMA. Debido al pequeño tamaño del analizador de polarización utilizado, las orillas del CCD se encuentran obstruidas por la montura del analizador; es decir, la imagen se encuentra enmarcada en una penumbra. El círculo blanco en la Figura 6 indica el área libre de penumbra para cualquier posición angular del polarizador y donde se puede ubicar el objeto de estudio. Para la correcta orientación de las imágenes en el cielo estas deben rotarse 90 grados e invertir el eje Y. Estas operaciones ya están incluidas en los despliegues de las imágenes de la interfaz.



**Figura 6.** Imagen completa del CCD en el filtro R del blazar PKS1510-089 obtenido con POLIMA y la cámara FLI del OAN-SPM. El ángulo del polarizador en esta imagen es 0 grados. Note el área de penumbra en los bordes de la imagen. El círculo blanco es el área libre de penumbra pues al girar el polarizador a las posiciones de 45 y 135 grados las esquinas del CCD quedarán obstruidas.

Los parámetros de este círculo están contenidos en el archivo */home/observa/polima2.cfg* cuyo contenido es:

```
x=1024  
y=1034  
r=504  
extra=0
```

donde  $x$ ,  $y$  &  $r$  son las coordenadas del centro del círculo de radio  $r$  (todos los valores en pixeles) que encierra la región de la imagen libre de penumbra producida por la montura del analizador. Estas coordenadas están dadas en el valor real; por ejemplo, si tenemos un *binning* de 2x2 estas corresponderán al centro en (512, 517) y radio 252; en un *binning* de 3x3 centro estará en (256,256) y radio 125, etc. En este círculo se realiza todas las operaciones de procesado de imagen. De ser necesario, estos valores pueden ser cambiados por el usuario.

**Roi to Pola:** Esta función permite ubicar en el centro del círculo del polarímetro el centro geométrico de la región seleccionada con la opción *region* del ds9 y que se indica en la pantalla de despliegue de la imagen. El programa mueve el telescopio acordemente para lograr esto.

**Do stadistic:** Cuando esta opción es seleccionada, se realiza la estadística en el círculo de POLIMA libre de penumbra. El programa escribirá la estadística calculada en la venta de mensajes de la siguiente manera.

Si se hace la estadística en el ROI, se escribirán los resultados en el siguiente formato en la región de comentarios.

```
ESTADISTICA Max= 50888 Min= 2600 Average= 25479 Std. Dev.= 235
```

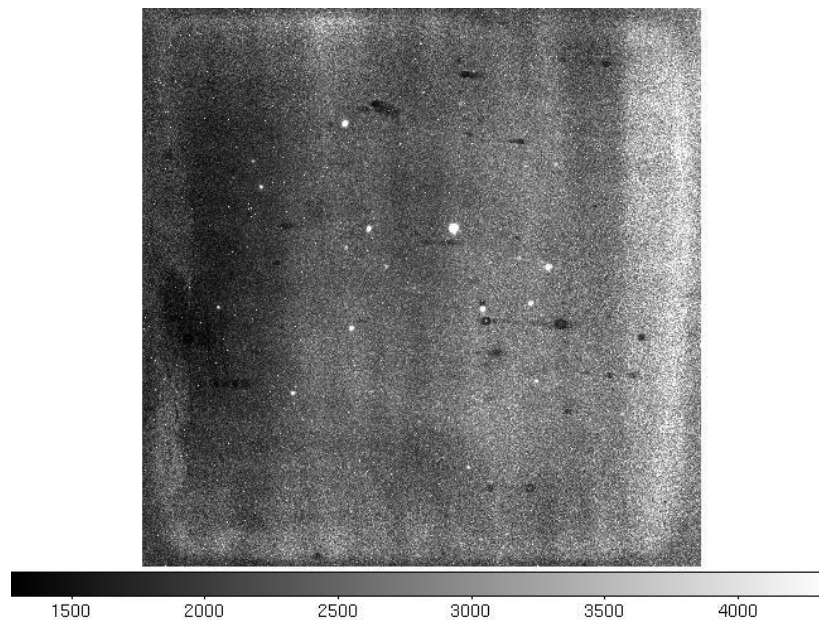
donde *Max* y *Min* son los valores máximos y mínimos de los pixeles; *Average* es el valor promedio de los valores de los pixeles en el ROI; *Std. Dev* es la desviación estándar los pixeles.

La opción **Do stadistic** puede ser desactivada para obtener una mayor velocidad de adquisición de las imágenes.

**Do Dark subtract:** Cuando se selecciona, se realiza la substracción de la imagen de corriente oscura *Dark.fits* a la imagen recién obtenida. El usuario deberá obtener esta imagen con el mismo tiempo de integración y *binning* de la imagen que será restada. Esta función permite identificar más rápido los campos a los que apunta el telescopio. Una vez que el campo ha sido identificado, la opción puede ser apagada para obtener una mayor velocidad de adquisición.

## 2.1 IMÁGENES SIN PROCESAR DE LA CÁMARA FLI

A diferencia de las otras cámaras del OAN-SPM, la cámara FLI no trabaja a temperatura criogénica. Esto hace que se tenga una contribución térmica en las imágenes sin procesar que las hacen diferente a las que estamos acostumbrados en las otras cámaras del OAN que presentan un ruido térmico mínimo. La Figura 7 muestra una imagen adquirida con la cámara FLI del OAN-SPM sin restar la imagen de la corriente oscura. La Figura 6 se muestra la misma imagen pero que ha sido procesada restando el campo de corriente oscura y dividida por un campo plano. Como podrá verse de la comparación de ambas figuras la diferencia es notoria.



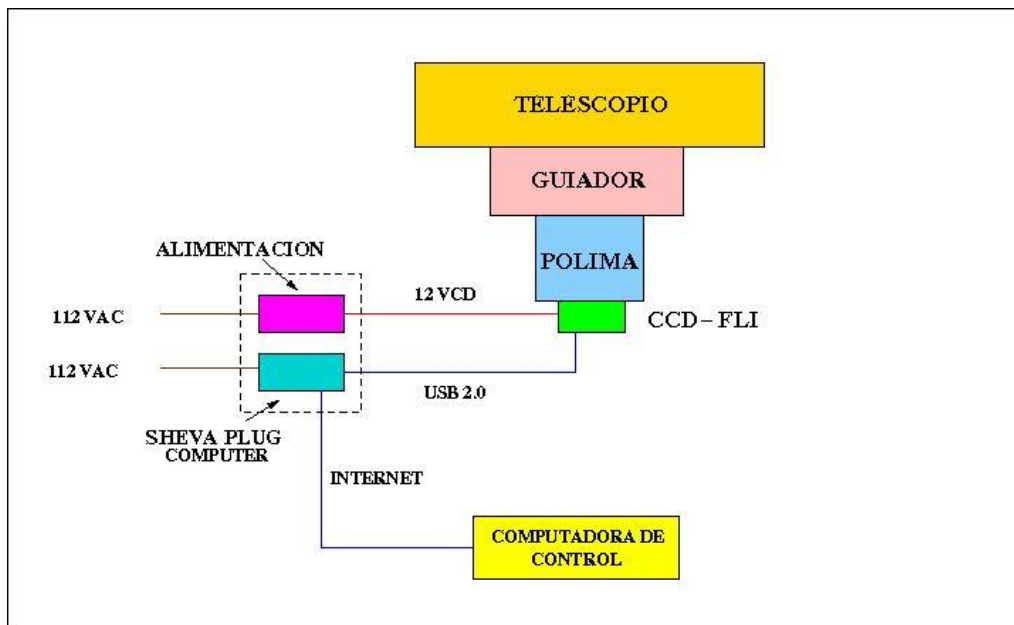
**Figura 7.** Imagen sin procesar en el filtro R del blazar PKS150-090 obtenido con POLIMA y la cámara FLI del OAN-SPM.

El ángulo del polarizador en esta imagen es 0 grados. Compare esta misma imagen con la misma imagen, pero procesada, que se presenta en la Figura 6.

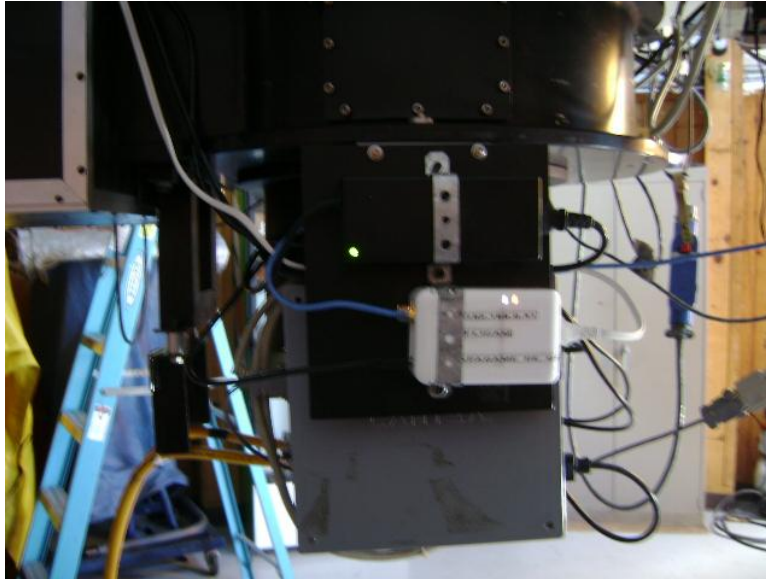
### 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La Figura 8 muestra el diagrama esquemático de la forma de instalar la cámara FLI del OAN-SPM. La cámara se controla a través de un puerto USB 2.0. Para hacerlo compatible con el manejo por Internet, se utilizó una computadora “*sheva-plug*” que funciona como una interfaz entre la comunicación USB 2.0 e Internet. La “*sheva-plug*” se conecta con la computadora de control donde se encuentra el programa de manejo. El programa de control de la computadora “*sheva-plug*” reside en una tarjeta de memoria instalada en su exterior.

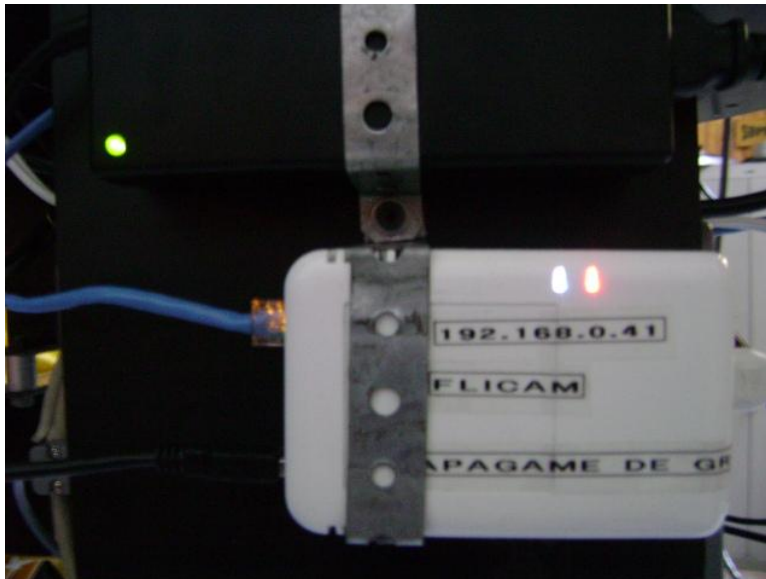
La cámara FLI requiere para su operación un voltaje de 12 VCD que se proporcionan a través de una fuente de alimentación. La fuente de alimentación del CCD y la computadora “*Sheva-plug*” se encuentran montados en una misma tableta en la platina del telescopio, como se muestra en las Figuras 9 y 10.



**Figura 8.** Diagrama esquemático de la conexión de la cámara FLI del OAN-SPM.



**Figura 9.** Fuente de alimentación (caja negra superior con LED verde) y computadora de interfaz “*Sheva-Plug*” (caja inferior blanca) para la cámara FLI del OAN-SPM.



**Figura 10.** Acercamiento a la computadora de interfaz “*Sheva Plug*” (inferior) de la cámara FLI del OAN-SPM. A la izquierda de la “*Sheva-Plug*” puede verse la conexión del cable de internet (cable azul) y el cable de USB 2.0 (cable negro) que se comunica con la cámara. En la parte derecha se puede apreciar el cable blanco de conexión a 112 VAC. El LED Rojo (derecha) indica el estado activo de la “*Sheva Plug*” y el LED azul (izquierda) indica la actividad de la computadora.

#### 4. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

La Figura 11 presenta el sistema de circulación del líquido refrigerante de la cámara FLI del OAN-SPM. El flujo que se logra con este sistema es de  $\sim 1.9$  litros por minuto. El flujo puede medirse en la manguera de retorno utilizando un vaso graduado en volumen y un cronómetro. El líquido utilizado actualmente es agua. La manguera que se utilizó es de 3/8" que está libre de estrangulamientos. El agua que circula en el intercambiador de calor de la cámara es propulsado por una bomba centrífuga. El agua está contenida en una cubeta de plástico de 5 galones. La cubeta y la bomba están ubicadas en una repisa de madera en el suroeste del piso de telescopio, a una altura aproximada de 80 cm, para evitar la presión hidrostática extra producida por la gravedad debido a la diferencia de alturas entre la bomba y la cámara. La bomba se conecta directamente a un tomacorriente en la pared y se puede quedar encendida todo el tiempo.



**Figura 11.** Cubeta y bomba circuladora para el enfriamiento por líquido de la cámara FLI en el telescopio de 84cm del OAN-SPM.

La manguera que conduce el líquido pasa a través del hueco del eje de AR en el telescopio de 84cm. Para evitar estiramientos de la manguera, la catenaria de ésta, después de pasar por el agujero de AR, debe ser tal que la manguera alcance a tocar el piso. Las entradas del

líquido al CCD están localizadas en el lado sur de la cámara. La Figura 12 muestra como se sujeta la manguera a la platina del telescopio para evitar los esfuerzos en los conectores.



**Figura 12.** Manera de soportar las mangueras de la cámara FLI en el telescopio de 84cm del OAN-SPM para evitar esfuerzos en los conectores.

Para conectar la manguera, empújela en el conector hasta escuchar activarse el cerrojo. La conexión de las mangueras en la cámara es indistinta.

Para desconectar las mangueras de enfriamiento de la cámara FLI se recomienda mandar el telescopio a la posición de PONER LONA desde la consola de control del telescopio. Esto permitirá drenar la manguera de retorno y disminuirá los derrames en ambas mangueras. Utilizar una cubeta limpia para recoger cualquier derrame. Desconectar las mangueras de los conectores jalando hacia el exterior junto con el seguro. Una vez sueltos ambos extremos, interconectarlos entre sí con un pedazo de manguera para evitar derrames.

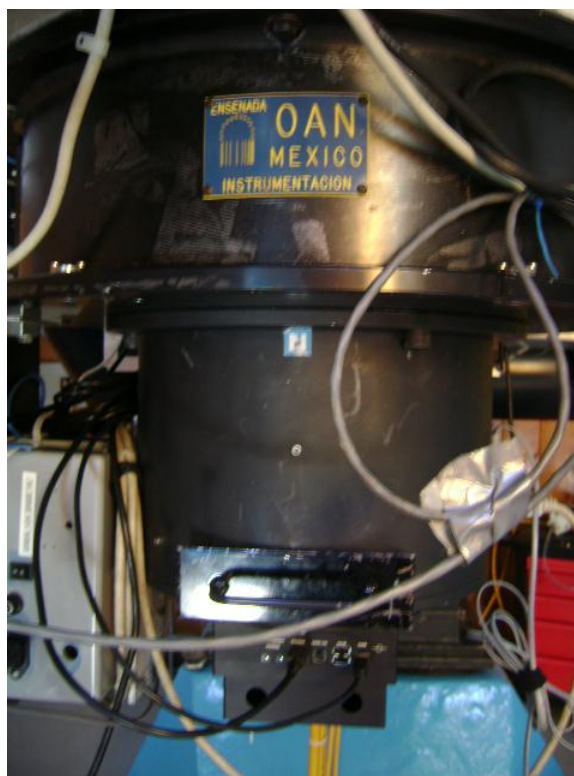
La cámara FLI fue adquirida con la opción de enfriamiento por líquido. Cuando se empezó a utilizar la cámara, se encontró que el disipador de calor en la parte posterior de la cámara presentaba una fuerte restricción al flujo del líquido. Se hicieron varias pruebas en el laboratorio mismas que se presentan en el Apéndice B y el Apéndice C. Se recibió un nuevo intercambiador de calor del fabricante pero aun así no se lograba el flujo requerido, por lo que se decidió instalar un nuevo disipador que se tenía disponible. Con el sistema descrito en esta sección se logró obtener el flujo adecuado y una buena operación de la cámara.

## 5. MONTURA MECÁNICA

La cámara FLI fue comprada para el proyecto del Telescopio Óptico Robótico (TORO) y para utilizarse con POLIMA. Debido a la crisis por la falta de cámaras tipo CCD en el OAN-SPM, por el momento es posible utilizarlo en el telescopio de 84 cm con la rueda de filtros MEXMAN. En el futuro, se planea construir un nuevo POLIMA de dos haces que podrá hacer también imagen directa en filtros de banda ancha UBVRI y entonces la cámara FLI sólo podrá utilizarse en ese instrumento y en el telescopio de 84 cm.

### 5.1 POLIMA+ CÁMARA FLI

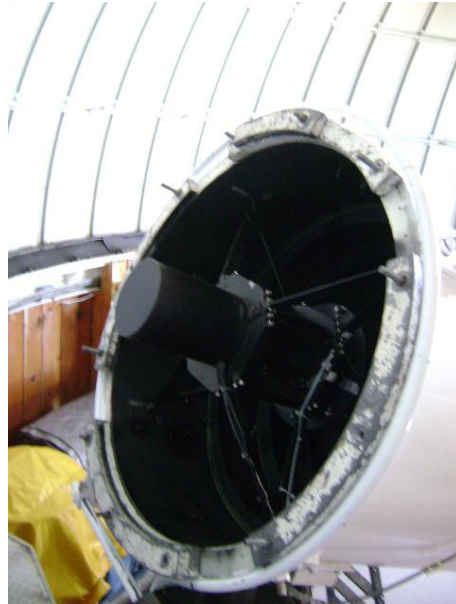
1. La cámara FLI se monta en POLIMA sin ningún separador. Los conectores eléctricos de la cámara van hacia el norte y los conectores de las mangueras hacia el sur (ver Figura 13).



**Figura 13.** Manera de montar la cámara FLI en el telescopio de 84cm y POLIMA-I.



2. En la parte superior del tubo del telescopio lleva 4 contrapesos (ver Figura 14): al Norte 1 largo; al Sur 1 largo; al Este 1 largo; al Oeste 1 largo.



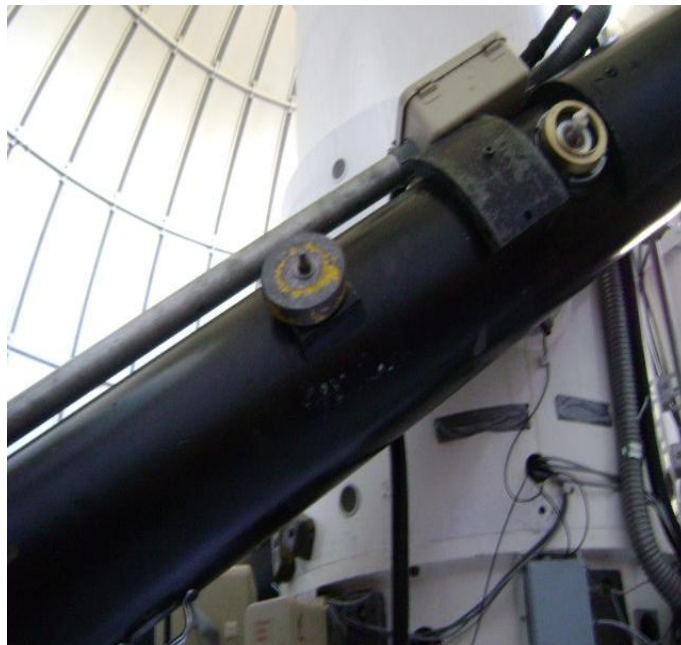
**Figura 14.** Contrapesos necesarios en la parte superior del tubo del telescopio de 84cm, para montar la cámara FLI y POLIMA.

3. Las posiciones de las pesas deslizables que van en las barras de los costados del telescopio son: la del noreste (NE) va a una distancia de 35", la del suroeste (SO) va a una distancia de  $46 \frac{3}{4}$ ".
4. En la parte Sur del tubo hay dos roscas: en la rosca de abajo poner dos pesas en forma de herradura, una de 6" de diámetro y otra de 7" de diámetro. En la parte Sur del tubo, hacia el Este, hay un juego de tres roscas en las dos de abajo del lado Oeste va un rectángulo de plomo y en la rosca derecha un plomo cuadrado (Ver Figura 15).



**Figura 15.** Contrapesos necesarios en la parte sur del telescopio de 84cm, para montar la cámara FLI y POLIMA.

5. En el yugo de Ascensión Recta colocar una pesa de 5" de diámetro por 1 ½" de ancho (Ver Figura 16).



**Figura 16.** Contrapeso necesarios en el yugo del 84cm, para montar la cámara FLI y POLIMA.

## 5.2 MEXMAN+ CÁMARA FLI

1. Lleva dos placas separadoras entre la MEXMAN y el guiador. La cámara FLI va directo al instrumento y su electrónica va al Sur. Los conectores eléctricos de la cámara FLI van hacia el norte y los conectores de las mangueras hacia el sur.

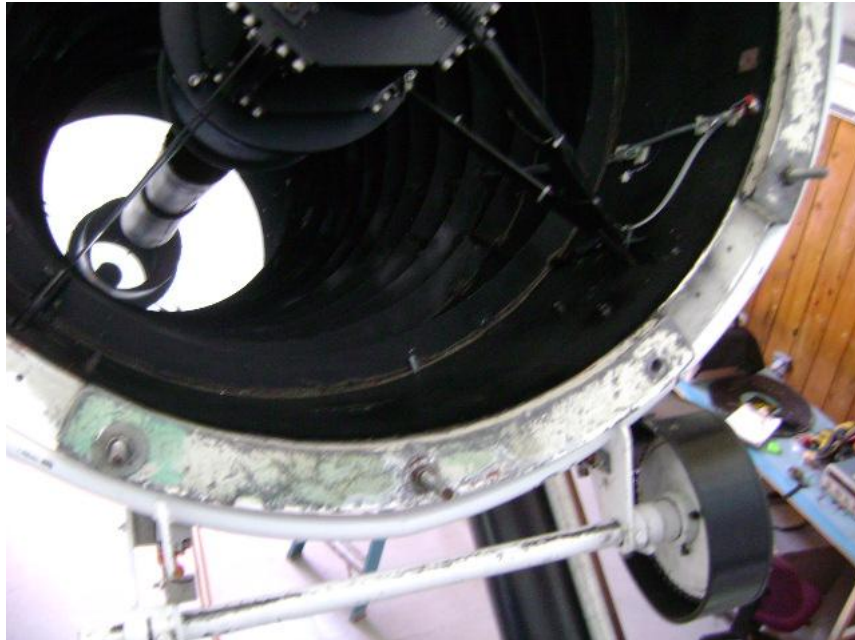


**Figura 17.** Manera de montar la cámara FLI en el telescopio de 84cm y MEXMAN.

2. En la parte superior del tubo del telescopio montar 4 contrapesos: al Norte 1 largo; al Sur 1 largo; al Este 1 largo; al Oeste 1 largo (Ver Figura 18 y Figura 19).



**Figura 18.** Contrapesos necesarios en la parte superior del tubo del telescopio de 84cm, para montar la cámara FLI y MEXMAN. Note los contrapesos largos en el Norte, Este y Oeste.



**Figura 19.** Contrapesos necesarios en la parte superior del tubo del telescopio hacia el SUR de 84cm, para montar la cámara FLI y MEXMAN.

3. Las posiciones de las pesas deslizables que van en las barras de los costados del telescopio son: la del Noreste (NE) va a una distancia de  $48 \frac{1}{2}''$ ; la del Suroeste (SO) va a una distancia de  $64''$ .

4. En la parte Sur del tubo hay dos roscas: en la de abajo va una pesa de 6" de diámetro amarilla (ver figura 18).
5. En la parte Sur del tubo hacia el Este hay un juego de tres roscas: en la de arriba va un plomo octagonal y en las dos de abajo del lado Este va un cuadrado de plomo y al Oeste va un rectángulo de plomo (ver figura 20).



**Figura 20.** Contrapesos necesarios en la parte sur del telescopio de 84cm, para montar la cámara FLI y MEXMAN.

6. En el yugo de Ascensión Recta lleva una pesa de 5" de diámetro por 1 ½" de ancho similar que en el POLIMA (ver figura 16).
7. NOTAS: para la configuración de contrapesos con este instrumento, se quitó la lona de la tapa del tubo del telescopio y se puso tapa al contacto del lado Oeste.

## 6. CONCLUSIONES

Hemos encontrado que la cámara FLI es un sistema robusto y confiable que puede ser utilizado para propósitos científicos en el OAN-SPM y que ha sido avalado por varias temporadas en las que los usuarios están conformes con el desempeño del sistema y con el programa de interfaz de usuario de la cámara.

Quedan pendientes algunas mejoras al sistema como son:

1. Corregir la montura de la computadora “*Shev- Plug*” y la fuente de alimentación de la cámara.
2. Robustecer las conexiones del sistema de enfriado de la cámara e incluir una válvula a la salida de la bomba para evitar derrames al hacer la desconexión de las mangueras.
3. Cambiar a una mezcla de glicol y agua como enfriador del sistema para evitar el congelamiento cuando baje la temperatura ambiente por debajo del punto de congelación del agua.

## APÉNDICE A

### CARACTERÍSTICAS DEL CCD-FLI PROPORCIONADAS POR EL FABRICANTE

#### Finger Lakes Instrumentation Quality Assurance Test Summary

FLI Library Version: FLI Software Development Library for Windows 1.52  
FLITEST Version: 2.36 SC  
Serial Number: PL0143610  
Sensor designation: F3041  
Lab ambient temp: 23.1  
CCD Test Temp: -30

#### Basic Functions

CCD temp sensor: OK.  
Base temp sensor: OK.  
Shutter opens fully: OK.  
Shutter closes fully: OK.

#### CCD Chamber

Desiccant installed: OK.  
Purged: OK.  
Noble Gas Back-fill: OK.  
Window clean on both surfaces: OK.  
CCD free of dust: Yes

#### Performance

Cooler can achieve dT greater than: -50.0C  
Cooler is rate: Yes (-10.00 C/min)  
Cooler Tests: Pass  
Noise distribution is random: Yes  
Bias frame histogram is Gaussian: Yes  
Standard test target appearance OK: Yes

#### Specific Tests

Power Supply voltage: 11.8  
AUX Connector Pin 4 voltage: -0.0  
External Trigger: Working  
AUX Pin 1: Working OK.  
AUX Pin 2: Working OK.

## Gain and Noise Measurement

### 2MHz 2CH TOP

Conversion factor (gain): 1.13

Bias: 2908

Readout noise: 14.3 (e<sup>-</sup>)

Saturation: 70768.5 (e<sup>-</sup>)

Horizontal Binning Test: Pass

Bias Drift Test: Pass

100s Dark Current Growth: 10.3 ADU (Passed)

Linearity Test: Passed

### 2MHz 2CH BOTTOM

Conversion factor (gain): 1.20

Bias: 2908

Readout noise: 14.06 (e<sup>-</sup>)

Saturation: 75152.4 (e<sup>-</sup>)

Horizontal Binning Test: Pass

Bias Drift Test: Pass

100s Dark Current Growth: 10.3 ADU (Passed)

Linearity Test: Passed

### 2MHz 1CH

Conversion factor (gain): 1.18

Bias: 865.8

Readout noise: 20.5 (e<sup>-</sup>)

Saturation: 76309.4 (e<sup>-</sup>)

Horizontal Binning Test: Pass

Bias Drift Test: Pass

100s Dark Current Growth: 5.6 ADU (Passed)

Maximum Linearity Error: 0.083 (%)

Linearity Test: Passed

### 500kHz 1CH

Conversion factor (gain): 1.38

Bias: 942.6

Readout noise: 13.4 (e<sup>-</sup>)

Saturation: 89137.0 (e<sup>-</sup>)

Horizontal Binning Test: Pass

Bias Drift Test: Pass

100s Dark Current Growth: 5.6 ADU (Passed)

Maximum Linearity Error: 0.081 (%)

Linearity Test: Passed

Camera Build Information: IC/G/J/M/G

Camera Passed



## APÉNDICE B

### REPORTE DE LAS PRUEBAS AL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR LÍQUIDO DE LA CÁMARA FLI

David Hiriart, Enrique Colorado, Antolín Córdova, Jorge Valdez y Francisco Lazo  
Ensenada, B.C. a 28 de febrero de 2011

#### Antecedentes

En los últimos meses de 2010 se adquirió una cámara ProLine PL3041-UV de *Finger Lake Instruments* FLI con la opción de enfriamiento por líquido para ayudar al enfriamiento termoeléctrico (Peltier). La opción de enfriamiento por líquido en esta cámara (llamada *Proline Liquid Cooler o PLC*) debe tener una tasa de flujo de 1.89 a 3.78 litros/min (0.5 a 1.0 galones/minuto). Un flujo mayor al indicado no permite la transferencia de calor al líquido y uno menor no permite sacar el flujo el calor a través del líquido. Por otro lado, el fabricante advierte que si se utilizan tasas de flujos por arriba de los indicados puede provocar que el sistema de enfriamiento tenga fugas y que haría invalida la garantía.

Durante las temporadas de enero y febrero del 2011 con esta cámara se pudo observar que no se lograban los gradientes de temperatura indicados por el fabricante y que además el flujo a través de la cámara era reducido, por lo que se decidió hacer pruebas al sistema de enfriamiento por líquido de esta cámara.

#### Pruebas de Flujo

##### Equipo

Se utilizó un sistema de recirculación y enfriamiento de líquido *Kinetics Thermal System (KTS)* Modelo RS33AL00 (*RS Series Recirculating Chiller FTS PS Industries*) conectado a la cámara a través de mangueras de 4.57 metros de largo y con un diámetro de apertura de 3/8 pulgadas. El modelo que tenemos del sistema TFS contiene una bomba centrífuga que, según el fabricante, produce un flujo de 2 galones por minuto a un presión de 4 psi. En las pruebas de flujo encontramos que el sistema de recirculación produce, a una altura de 0.51 metros sobre la salida del circulador, un flujo de 2.82 litros/minuto en un contenedor abierto. A una altura de 1.62 metros se tiene un flujo de 1.56 litros/minuto. Las pruebas de flujo se hicieron desconectando las mangueras y midiendo los flujos con un matraz de vidrio de 0.5 litros y un cronómetro.

Más información del circulador de puede encontrar en la página web

<http://www.spscientific.com/Thermal-Management-Equipment/Recirculating-Chillers/RS-Recirculating-Chiller>



**Figure B1.-** RS Series Recirculating Chiller FTS PS Industries

### **Resultados**

Cuando se conecta a la cámara, a la salida de ésta se tiene un flujo de sólo 0.54 litros por minuto. Es decir, el flujo se reduce en un factor de 5.2 al pasar por la cámara de enfriamiento. Entonces nos avocamos a averiguar la causa de esta reducción en el flujo que debe ser producida por una obstrucción en el sistema de enfriamiento de la cámara.

La entrada y salida al *Proline Liquid Cooler (PLC)* es a través de conectores *Quick Connect Double Bulk Head (QCDBH)* que se sellan al retirar los conectores en las mangueras. La Figura 2 muestra el PLC una vez que se remueve la tapa de la parte posterior de la cámara. La conexión está hecha con tubos de cobre. Para llegar al dedo frío, se conectan a través de un tubo de mayor diámetro al que se le ha hecho una ranura y soldado una caja de sección transversal rectangular para producir un flujo laminar en el dedo frío del detector. Desconectamos los conectores QCDBH y comprobamos que existe una restricción al paso del aire a través del sistema de enfriamiento. Por lo tanto concluimos que existe un bloqueo en alguna parte del sistema y no en los conectores QCDBH.



**Figura B2.-** Sección del *ProLine Liquid Cooler* una vez que se remueve las tapa inferior del cámara FLI.



**Figura B3.-** Acercamiento a la región de intercambio de calor donde puede verse la transición del tubo a la caja de sección rectangular para el enfriamiento del CCD

## Pruebas Térmicas

El fabricante de la cámara indica en sus especificaciones que el sistema de enfriamiento termoeléctrico puede alcanzar gradientes de entre 65 y 68 grados centígrados por debajo de la temperatura ambiente.

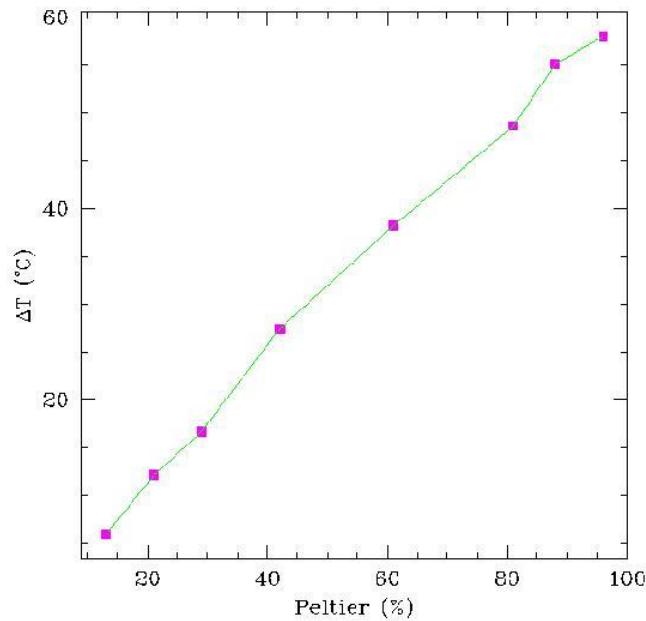
Para las pruebas térmicas se utilizó el equipo descrito anteriormente. Las mangueras estaban aisladas térmicamente en toda su longitud. Según las especificaciones del fabricante, el FTS puede mantener la temperatura del líquido que circula en el intervalo de -45 a +35 grados centígrados con una precisión de 0.1 grados centígrados (tenemos la opción de lograr hasta -45 grados centígrados). El modelo que tenemos sólo puede enfriar y no puede calentar el líquido.

Para las pruebas de la cámara se utilizó el programa de utilerías de la cámara para el sistema operativo Windows. Con esta utilería se puede fijar la temperatura de operación del CCD (*set point*). El programa despliega la temperatura que se logra en el CCD, la temperatura en el *back plane* y el porcentaje de uso de la celda Peltier.

**Tabla B1.-** Resultados de las pruebas térmicas.

<i>Set Point</i>	Temperatura CCD (°C)	Temperatura <i>Back plane</i> (°C)	Celda Peltier (%)	$\Delta T$ (°C)
0.0	0.0	5.9	13	5.9
-5.0	-5.0	7.1	21	12.1
-10.0	-9.6	7.1	29	16.7
-20.0	-20.0	7.4	42	27.4
-30.0	-29.8	8.4	61	38.2
-40.0	-39.9	8.7	81	48.6
-42.5	-42.5	12.6	88	55.1
-45.0	-45.1	12.9	96	58.0

En el FTS se fijó la temperatura a -4 grados centígrados y se hizo circular el líquido a la cámara. Se eligieron varios *set points* en el intervalo desde 0 a -45 grados centígrados y se registraron las temperaturas del CCD, el *back plane* y el porcentaje de la celda Peltier utilizado que reporta el programa. La Tabla B1 muestra los resultados obtenidos junto con el gradiente de temperatura entre el *back plane* y el CCD que se logró. La Figura 4 muestra la gráfica del gradiente de temperatura en función del porcentaje utilizado de la celda Peltier de los resultados presentados en la Tabla B1.



**Figura B4.** Gradiente de temperatura entre el CCD y el *back plane* como función del porcentaje usado de la celda Peltier para la cámara ProLine PL3041-UV.

Para esta prueba también medimos las temperaturas del líquido en el sistema recirculador cuando se elige el *set point* a -4 grados centígrados. A la entrada del CCD se tiene 2 grados centígrados y en el recipiente del circulador, a donde retorna el líquido enfriador, fue de 7.1 grados centígrados (*set point* del CCD de -5.0). El fabricante del FTS indica que la temperatura en la aplicación puede ser diferente de la que se elige en el *set point* del circulador.

### Conclusiones

1. Existe una obstrucción al paso al flujo del líquido de enfriamiento en la cámara FLI.
2. El máximo gradiente de temperaturas encontrado fue de aproximadamente 60 grados centígrados.
3. El sistema de enfriamiento puede ser utilizado en esta cámara pues proporciona los flujos requeridos por la FLI en las diferentes alturas en las que queda montado en el telescopio y además puede mantener el líquido en el intervalo de temperaturas de -40 a 35 grados centígrados. El instrumento cuenta con una interfaz de RS232 que permite el manejo del mismo facilitando su control automático, desde un punto remoto.

## APÉNDICE C

### INFORME PARCIAL DE LA ETAPA DE ENFRIAMIENTO

Mensaje enviado a Michael Richer, Leonel Gutiérrez y Juan Manuel Núñez por David Hiriart el 26 de mayo del 2011 conteniendo un informe parcial de la etapa de enfriamiento la cámara FLI del OAN-SPM.

---

Buenas tardes,

Este es un informe parcial del estado del CCD FLI. Un informe más detallado se enviará posteriormente.

Habían surgido dudas respecto al sistema de enfriamiento por líquido de este CCD pues no se lograban los flujos indicados. Se encontró que el sistema de enfriamiento esta obstruido parcialmente.

Recibimos del fabricante un nuevo enfriador por líquido, se instaló y se tuvo una mejora de un factor de 2 en el flujo sobre el flujo del sistema original. Lo que nos lleva a concluir que el sistema original sí tenía una obstrucción.

Sin embargo, aún el nuevo enfriador tenía cierta restricción. Jorge Valdez instaló en el CCD FLI la placa enfriadora del *Pixel Vision* (Ver fotografía anexa). Así, obtuvimos nuevamente una ganancia de un factor de 2 en el flujo. Para las pruebas de medición del flujo utilizamos el circulador y enfriador del *Pixel Vision* con una temperatura controlada de  $\sim 7^\circ\text{C}$ , pero notamos cierta condensación de humedad en la carcasa. Enrique Colorado averiguó como controlar los parámetros de operación del circulador desde un puerto serie.

Hicimos mediciones de corriente oscura para temperaturas del CCD desde 0 a  $-45^\circ\text{C}$ . Vimos que la corriente oscura no se mejora considerablemente si el CCD se enfría más allá de  $-30^\circ\text{C}$ . Esta es la temperatura de pruebas del fabricante. Encontramos que el CCD logra un gradiente de aproximadamente  $60^\circ\text{C}$  por debajo de la temperatura ambiente. De los dos puntos anteriores decidimos probar el CCD a la temperatura de  $-30^\circ\text{C}$  y con agua circulando a la temperatura ambiente.

Se adquirió una bomba centrífuga 3-MD-SC, de 1/12 H.P. Se instaló con las mangueras que ya se tenían y se logró un flujo de 1.88 litros/min (El fabricante recomienda de 1.89 a 3.78 litros/min). Este flujo se mantiene aún cuando la diferencia de alturas entre la bomba

y el CCD es de aproximadamente 3 metros. Enfriamos el CCD a  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y tomamos mediciones de *darks* y *bias* que analizaremos posteriormente. La bomba y la cámara estuvieron encendidas por 7 horas. La temperatura del CCD se mantuvo sin cambios en  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  aunque la temperatura del extremo caliente llegó a casi  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  y ahí se mantuvo (Temperatura ambiente  $\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). La carcasa no mostró condensación ni tampoco se notó que ésta se enfriara por abajo de la temperatura ambiente (más bien estaba un poco más caliente que el ambiente). No se registró un aumento perceptible en la temperatura del agua. El porcentaje utilizado de la celda Peltier fue de 87%.

Observamos que la termalización de la placa caliente con el fluido le lleva casi una hora, por lo que debe darse ese tiempo al CCD para estabilizarse térmicamente antes de ser utilizado.

En resumen, el sistema de enfriamiento está ahora funcionando a los flujos que recomienda el fabricante y el cambio de bomba sumergible a externa evita introducir una fuente de calor en el líquido de enfriamiento.

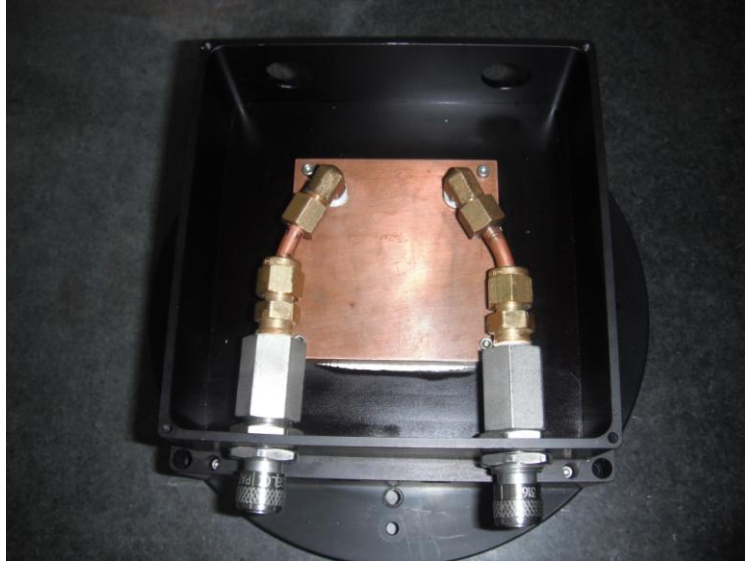
Del domingo 29 de mayo al domingo 5 de junio tendré una temporada de observación con POLIMA (Benitez) y aprovecharé para continuar con las pruebas.

Participaron en esta labor: David Hiriart, Francisco Lazo, Jorge Valdez, Gerardo Guisa y Enrique Colorado.

Sin más por el momento reciban un cordial saludo.

Atte.,

David Hiriart



**Figura C1.-** Sección del *ProLine Liquid Cooler* con el intercambiador de calor de la cámara *Pixel Vision* sustituyendo al original de la cámara FLI. Compare con la Figura B2.