

MANUAL DEL INSTRUMENTO “CAMARA INFRARROJA DOBLE DEL OAN: CID”

Luis Salas, Leonel Gutiérrez, Francisco Murillo,
Irene Cruz-González, Fernando Quirós, José Manuel Murillo,
Enrique Colorado, Elfego Ruiz, Erika Sohn, Esteban Luna,
Mauricio Tapia, Benjamín García, Benjamín Martínez,
Carlos Román, Jesús Hernández, Mónica Blanco

Versión 2: Septiembre 2017

Modificaciones realizadas en: Oct. 2001, Sep. 2002,

Feb. 2005, Mayo 2014, Dic. 2016, Sep. 2017.

Instituto de Astronomía y Observatorio Astronómico Nacional

24 de octubre de 2017

Resumen

La Cámara Infrarroja Doble (CID) del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) fue diseñada por un grupo de académicos del Instituto de Astronomía de la UNAM, para el estudio astronómico en el infrarrojo cercano y medio, mediante dos instrumentos independientes que comparten el mismo contenedor criogénico: CID-InSb y CID-BIB. El CID-InSb tiene un detector InSb (Santa Barbara) de 256×256 pixeles sensible en la región de 1 a $5 \mu\text{m}$ para imagen directa (escala de placa $0.3''/\text{pix}$ y tamaño de campo de $1.17' \times 1.17'$) y espectroscopía de baja resolución ($R = 1400$ a $2.2 \mu\text{m}$, 500 y $1200 \mu\text{m}$ a $3.6 \mu\text{m}$) cuya óptica está optimizada para $3.5 \mu\text{m}$. El CID-BIB tiene un detector BIB (Boeing) de 128×128 pixeles, sensible a longitudes de onda de 2 a $20 \mu\text{m}$ para imagen directa (escala de placa $0.5''/\text{pix}$ y campo de $64'' \times 64''$) cuya óptica está optimizada a $10 \mu\text{m}$. Toda la óptica se mantiene a temperaturas menores que 20 K, mientras que los detectores operan a temperaturas de 30 K (InSb) y 7 K (BIB), respectivamente. La modalidad de cámara directa del InSb solamente puede utilizarse en filtro K, L angosto (dependiendo del background de la noche) y con el CVF en la región de 2 - $4 \mu\text{m}$. La cámara directa del BIB permite alcanzar una magnitud límite de 6.7 en N ($10 \mu\text{m}$) en un minuto de integración, con cociente señal a ruido (S/R) de 1. Con el fin de actualizar el instrumento **El CID** se inició en 2016 un esfuerzo de modernización. La actualización de este manual reúne modificaciones realizadas en: oct 2001, sep 2002, feb 2005, may 2014, dic 2016 y sep 2017.

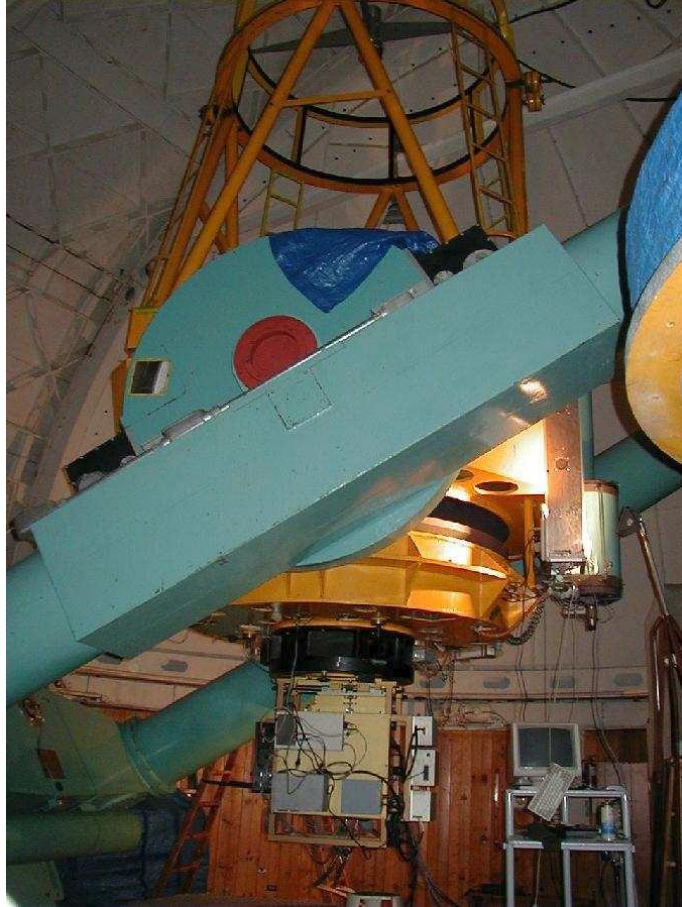


Figura 1: Cámara Infrarroja Doble instalada en el telescopio de 2.12 m del OAN.

Índice General

RESUMEN	i
ÍNDICE	i
1 INTRODUCCION		1
1.1 Descripción general		1
1.1.1 Remodelación del CID 2016-2017		1
1.2 Cámara para Imagen Directa en el Infrarrojo Medio (5 – 25 μm): CID-BIB . .		4
1.2.1 Detector BIB		4
1.2.2 Electrónica de lectura BIB		4
1.2.3 Configuración óptica		6
1.3 Cámara y Espectrógrafo en el Cercano IR (1 – 5 μm): CID-InSb		6
1.3.1 Detector InSb		6
1.3.2 Electrónica de lectura del InSb		7
1.3.3 Cámara directa: Configuración óptica		7
1.3.4 Espectrógrafo: Configuración óptica		7
1.4 Secundario oscilante f/30		8
1.4.1 Optica		8
1.4.2 Mecánica y control		8
1.5 Sistema criogénico		9
1.6 Control de movimientos		9
2 INSTALACION DEL CID EN TELESCOPIO		10
2.1 Horneado de detector InSb		10
2.2 Evacuación de la botella criogénica		10

2.3	Enfriado de la botella criogénica	10
2.3.1	Compresor de helio y cabezas expansoras	10
2.3.2	Control de temperatura	12
2.4	Sujeción a platina y conexiones	12
2.4.1	Sujeción	12
2.4.2	Conexiones	12
2.5	Selección de cámara y alineación	14
2.6	Apagado del sistema	16
3	CID-BIB	18
3.1	Linealidad, saturación y ganancia	18
3.2	Ruido intrínseco	18
3.3	Ruido a baja frecuencia	20
3.4	Filtros y fotometría	21
3.5	Estrellas estándar para el Mediano-IR	22
3.6	Imágenes CID-BIB	22
4	CID-InSb	25
4.1	Linealidad, saturación y ganancia	25
4.2	Ruido intrínseco	25
4.3	Filtros y fotometría	27
4.4	Rejillas y rendijas	27
4.5	Espectros	29
4.6	Espectro de emisión del cielo observado con el CID-InSb en banda L	31
5	PROGRAMAS DE OBSERVACIÓN	33
5.1	Filosofía de programación	33
5.2	Inicialización del programa de interfaz de usuario	33
5.3	En caso de problemas al iniciar el programa	34
5.4	Observación desde sonaja	34
5.5	Terminando el programa	34
5.6	Uso del programa de observación	35

5.7	Secuencias de comandos	37
5.8	Imágenes FITS generadas	42
5.9	Localización de imágenes y secuencias	43
6	OBSERVACIONES CON EL CID	45
6.1	Bitácora de Observación	45
6.2	Encontrar estrella de guía y campo	45
6.3	Guiador Excéntrico	46
6.3.1	Iniciación de guiador y parámetros para autoguiado	46
6.3.2	Autoguiado	47
6.3.3	Tamaño del campo del guiador	47
6.3.4	Parámetros en el guiador para el CID-BIB.	47
6.3.5	Parámetros en el guiador para el CID-InSb.	48
6.4	Secundario oscilante	48
6.5	Procedimiento para enfoque del telescopio	49
6.6	Parámetros de foco y guiador	49
6.7	Selección del tiempo de integración	50
6.7.1	CID-BIB	50
6.7.2	CID-InSb	50
6.8	Obtención de campos planos	51
6.9	Centrar estrella en rendija	52
6.10	Enfocar en L	52
6.11	Rendija curva y Offset guiador	52
6.12	Scripts de observación	52
7	REDUCCION DE DATOS	54
7.1	Aplanado para imágenes del BIB	54
8	RECONOCIMIENTOS	56
8.1	Participantes	56
8.2	Agradecimientos	57
8.3	Financiamiento	57

Bibliografía 58

Capítulo 1

INTRODUCCION

1.1 Descripción general

La Cámara Infrarroja Doble (CID) del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) fue diseñada para el estudio astronómico en el infrarrojo cercano y medio, mediante dos instrumentos independientes que comparten el mismo contenedor criogénico, a los cuales llamaremos CID-InSb y CID-BIB, respectivamente.

El CID ha sido diseñado y construido por IR Laboratories en Tucson, AZ (E.U.A.) bajo especificaciones nuestras por un grupo encabezado por Robert Kurtz. En la Fig. se presenta una fotografía de la configuración opto-mecánica de los dos instrumentos del CID, en la parte derecha está el CID-InSb y en la izquierda-superior el CID-BIB. Puede observarse que todo el tren óptico está bafleado para minimizar radiación parásita. Hasta la fecha, el CID es un instrumento único en su clase por su cobertura dual en intervalo espectral y por su diseño compacto y eficiente. La montura del CID (llamada caballo del CID) para su acoplamiento al telescopio de 2.1 m del OAN/SPM fue diseñada y construida en el Taller Mecánico del IAUNAM-Ensenada por el grupo encabezado por J. Valdez. La interfaz de usuario que opera en Linux fue desarrollada también en el IAUNAM-Ensenada por el grupo encabezado por L. Gutiérrez. Para la operación del CID se construyó un nuevo secundario f/30 en el IAUNAM-CU por el grupo encabezado por F. Garfias.

En la Fig. se muestra el instrumento montado en el telescopio.

1.1.1 Remodelación del CID 2016-2017

Con el fin de actualizar el instrumento **El CID** se inició en 2016 un esfuerzo de modernización.

Después de meses de trabajo y tres temporadas de observación para pruebas y talleres de usuarios se avanzó en lo siguiente: José M. Murillo revisó y reparó la electrónica actual del secundario oscilante. Francisco Murillo construyó un módulo para reemplazar las comunicaciones mediante puerto de impresora (obsoleto) a puerto ethernet. Esta es la primera fase de un reemplazo total de la electrónica del secundario oscilante. Benjamín García y Benjamín Martínez han estado a cargo de reemplazar la manguera de helio que se dobló. Se intentó utilizar la tarjeta de fibras ópticas que se utiliza para los CCD's (desarrollada por Enrique Colorado) para el CID, enfrentando incompatibilidad con el sistema del CID.

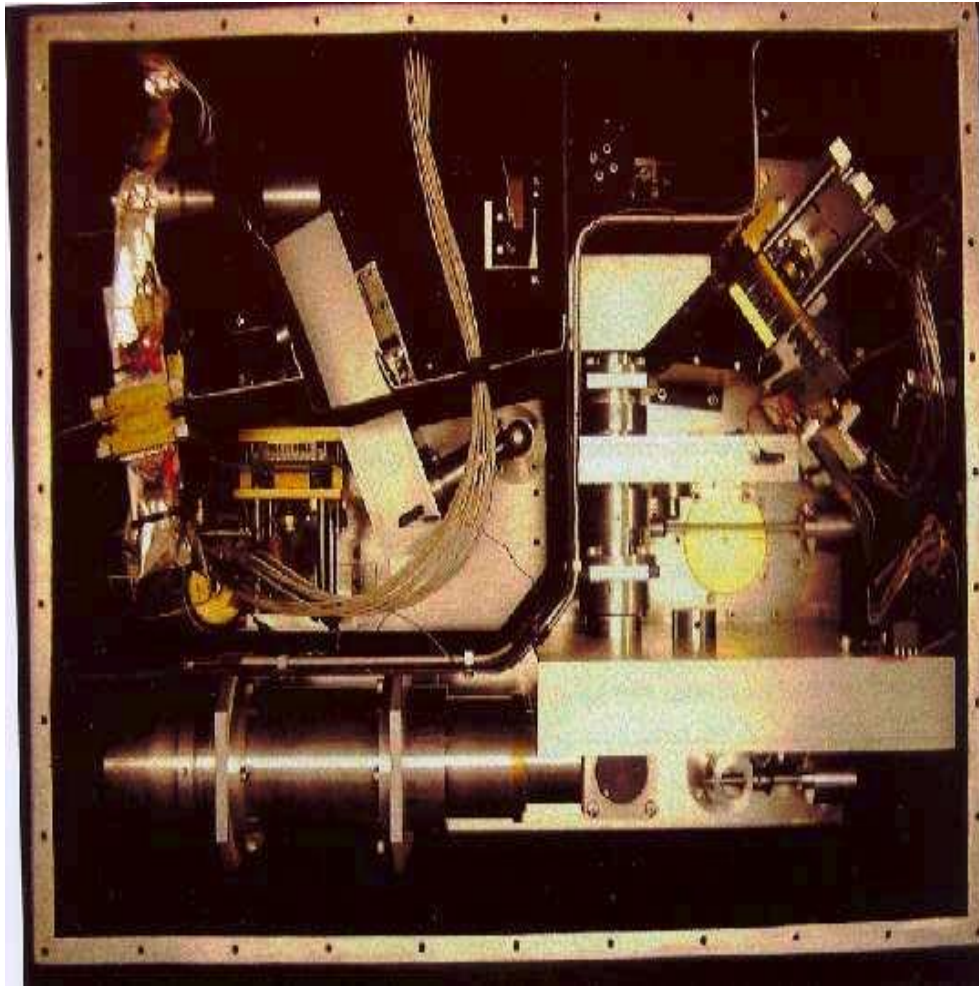


Figura 1.1: Configuración optomecánica.



Figura 1.2: CID en el telescopio 2.1m del OAN.

Se reemplazó la computadora antigua **elcid** por una nueva, Dell modelo de 2016. Leonel Gutierrez escribió el nuevo driver para la tarjeta antigua de fibras opticas y readaptó todo el software para correr en la nueva PC. También instaló un convertidor de puerto ethernet a serie para sustituir la comunicacion serial antigua con la caja de control de motores de ruedas de filtros. Francisco Murillo comenzó a construir un módulo que reemplazará todo el control digital antiguo de motores de ruedas de filtros.

Por otro lado, se llevaron a cabo dos talleres de usuarios En el primer taller estuvieron presentes: Carlos Román, Mauricio Tapia, Mónica Blanco, Leonel Gutiérrez y Luis Salas. Se perdieron varias noches por clima y no funcionó aún la electrónica. Se utilizó la computadora antigua del CID. Se presentó una falla en cuatro cuadrantes del BIB que se reparó. Sin embargo fué posible determinar los parámetros de guiador que posibilitan el autoguiado para espectros en $3.6 \mu\text{m}$. También se identificó un método posible para centrar objetos en la rendija. En el segundo taller, estuvieron presentes: Mauricio Tapia, Carlos Román, Jesús Hernández y Luis Salas. Se pudo trabajar bien en modo de observación espectroscópica en 2.2 y $3.6 \mu\text{m}$ con el CID-InSb. Jesús Hernández logró realizar observaciones que determinarán los límites reales de observación en este modo. Luis Salas escribió una serie de scripts interactivos para centrar los objetos en la rendija de forma rápida y confiable.

La actualización de este manual reúne modificaciones realizadas en: octubre 2001, septiembre 2002, febrero 2005, mayo 2014, diciembre 2016 y septiembre 2017.

1.2 Cámara para Imagen Directa en el Infrarrojo Medio (5 – 25 μm): CID-BIB

1.2.1 Detector BIB

El detector BIB es un detector de imagen híbrido de Si:As sensible en el intervalo de $2\text{-}28 \mu\text{m}$ cuyas especificaciones se presentan en la Tabla 1.1. El CID opera entre 6 y $8 \text{ }^\circ\text{K}$ mediante un compresor de helio circulante, para suprimir corriente oscura y radiación térmica de fondo.

1.2.2 Electrónica de lectura BIB

La electrónica de lectura es de alta velocidad, capaz de leer y cosumar hasta 1000 cuadros por segundo. La electrónica de lectura del BIB fué desarrollada por Bob Leach (San Diego State University/ IR Labs). Ha sido optimizada y corregida en el OAN e IAUNAM-Ensenada. Las características generales se muestran en la Tabla 1.2.

El detector BIB tiene asociados 6 DSP's, 4 de los cuales se encargan de realizar cosumas internas en tiempo real (hasta 1000 imágenes/seg), uno para relojería del detector y transmisión de datos a fibra óptica y uno para recibir datos de fibra óptica. La programación de los DSPs, así como los diagramas electrónicos correspondientes se encuentran documentados en el manual del instrumento entregado por IR Laboratories (User Manual for UNAM BIB Camera & InSB Camera Spectrometer 1999) y complementado con los diagramas electrónicos y código fuente de programas enviados por Leach.

Los cambios realizados a esta electrónica en el OAN son los siguientes:

Tabla 1.1: Detector CID-BIB

Fabricante	Boeing
Material	Si:As
Tipo	Back illuminated (BIBIB)
Formato	128×128 pixeles
Tamaño de pixel	75×75 μm^2
Tamaño de detector	9.6×9.6 mm ²
Intervalo espectral	2-28 μm
Límites de temperatura	2-14 °K
Temperatura de operación	6-8 °K
Eficiencia cuántica	40% (nominal)
Corriente oscura	$1.7 \times 10^7 \text{ e}^-/\text{s}/\text{pix}$
Capacidad de pozo	$2.1 \times 10^7 \text{ e}^-$
Saturación	64,000 ADU (nominal)
Ruido de lectura	880 e^-
No linealidad	10%
Salidas	16 en paralelo

- La velocidad máxima de lectura se redujo a 300 cuadros por segundo, evitando así que un capacitor de filtro demasiado grande a la entrada de los preamplificadores ocasionara una imagen rezagada con sus correspondientes fantasmas. Simultáneamente se cambió el capacitor filtro de entrada de los 16 canales.
- Los bancos de memoria para cosumas en los DSP's, que inicialmente eran de 32 bits se redujeron a 24 bits al detectarse conflictos de direccionamiento en esta parte de la memoria, que ocasionaban fallas y sobrecalentamiento de componentes manifestándose como franjas horizontales saturadas en las imágenes. Con esto el número máximo de cosumas internas en el DSP se redujo de 65536 a 256, lo cual es suficiente para cualquier frecuencia de oscilación realista del secundario.
- Cada tarjeta de procesamiento de señal (hay 4) cuenta con sus reguladores de voltaje propios. Todos los reguladores de -12v tenían problemas de diseño y oscilaban ($\pm 1\text{Vpp}$) durante la lectura del detector. Se reemplazaron por otro tipo.
- El voltaje para la polarización del sustrato del detector se modificó de 3.0 V a 4.2 V con lo que la señal a ruido se mejoró un factor de 10 al inhibir la creación de electrones secundarios a un fotoevento.
- Se han corregido soldaduras frías en la entrada de los DSPs. Donde llegan las 16 señales del detector se encuentran sendas resistencias de "pull-down" que polarizan las etapas de salida del detector. Soldaduras frías en estas resistencias ocasionan que, o bien se pierda por completo la señal del detector (observándose el cuadrante correspondiente completamente saturado), o que se quede flotando la polarización (observándose un nivel intermedio de señal en las imágenes, pero sin respuesta aparente a la luz).

Tabla 1.2: Electrónica de lectura del BIB

Velocidad de lectura	300 cuadros/s
Mínimo tiempo integración	3 ms
Número de bits de los convertidores	16
Número de cuadrantes	16
Ganancia de la electrónica	330 e ⁻ /ADU
Ruido de lectura	880 e ⁻
Corriente oscura	1.7×10 ⁷ e ⁻ /seg
Cosumas internas en tiempo real	hasta 256
Cosumas externas	1-XXX

La imagen generada en los DSP's es transferida a la PC dedicada "PC-CID", en donde se pueden efectuar cosumas adicionales (llamadas externas) para aumentar el tiempo de integración. La transferencia de imágenes a esta computadora toma 25 ms y las cosumas externas se realizan en aproximadamente 10 ms.

1.2.3 Configuración óptica

Las características de la configuración óptica del CID-BIB son: cámara 2:1 con parábolas fuera de eje. Tamaño de la imagen de 40 μm . Plano de la pupila ocupado por stop de Lyot próximo a rueda de filtros. La rueda de filtros es motorizada y cuenta con 10 posiciones con filtros de 5/8". El plano focal está inclinado lo que lo hace sensible a polarización. La magnificación de la cámara con secundario f/30 dará una f/13.5. La escala de placa sería 0.5"/pixel (nominal), sin embargo la incidencia inclinada en el plano focal del detector, ocasiona que las escalas de placa en los ejes x y y sean distintas (0.55 en x y 0.46 en y). En un telescopio de 2 m el límite de difracción a 10 μm es de 1.12". El diámetro de la pupila es 4 mm. Plano focal localizado 11.5 cm debajo de la ventana.

1.3 Cámara y Espectrógrafo en el Cercano IR (1 – 5 μm): CID-InSb

1.3.1 Detector InSb

El detector fue fabricado por Santa Barbara (Hughes) CRC-463 de 256×256 pixeles de 30 μm . 4 salidas, capacidad de pozo de 2×10⁵ electrones. Eficiencia cuántica de 80%. Temperatura de operación 30 K. Ruido de lectura de 10 a 50 electrones RMS. Los cuadrantes son líneas verticales alternadas.

1.3.2 Electrónica de lectura del InSb

La electrónica de lectura del InSb fue desarrollada por Bob Leach. Esta electrónica no tiene capacidad de realizar cosumas en tiempo real. El detector puede leerse en forma no destructiva, lo que permite reducir el ruido de lectura apreciablemente, a costa de que el tiempo mínimo de integración es relativamente grande. Así, en modo de dos lecturas por integración, la primera lectura tarda en procesarse y transferirse a la PC 172 ms, que es el tiempo mínimo de integración. Ya que de comenzar la segunda lectura en forma inmediata a la primera, el primer pixel leído llevará ya acumulados 172 ms. Las características de la electrónica se muestran en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3: Electrónica del InSb

Capacidad del pozo de integración	$2 \times 10^5 e^-$
Número de bits de los convertidores	14
Ganancia	$15 e^-/\text{ADU}$
Ruido de lectura	$130 e^-$

1.3.3 Cámara directa: Configuración óptica

La óptica es refractaria con dos sistemas de cámaras y colimadores. El primer plano focal está ubicado 3.5 cm debajo de la ventana. La primera pupila está ocupada por un “stop de Lyot” y cerca de la rueda de filtros (motorizada). El segundo plano focal está ocupado por rueda de rendijas y aperturas (motorizada). La segunda pupila está ocupada por una mesa giratoria motorizada que incluye 3 rejillas de difracción y un espejo para imagen directa. Finalmente, el tercer plano focal lo ocupa el detector. La magnificación del sistema es 2.6, lo que da un #f equivalente a f/9.9, con una escala de placa $0.3''/\text{pix}$ (nominal) y un campo visual de $64'' \times 64''$. Diámetro de la pupila de 4.2 mm. En modo de imagen directa se cuenta con 5 posiciones de filtros y un CVF (circular variable filter) en el intervalo 3-4 μm , con ancho espectral de 1%.

1.3.4 Espectrógrafo: Configuración óptica

El espectrógrafo y cámara fueron diseñados por Craig Thompson, U. de Arizona, bajo contrato con IrLabs. Las características del diseño óptico del espectrógrafo son: Máxima resolución al límite de difracción de 1200. Diámetro del haz colimado de 4.1 mm. Configuración Littrow fuera de plano. Líneas de absorción o emisión no perpendiculares a la dirección de dispersión.

1.4 Secundario oscilante f/30

1.4.1 Optica

Debido a la pobre calidad de imagen del secundario existente y su imposibilidad de utilizarlo con el guiador, se decidió construir un nuevo secundario f/30 con calidad óptica para imagen directa. Este secundario fué diseñado, pulido y probado en el IAUNAM-CU. Las pruebas ópticas en telescopio se realizaron con una cámara óptica del 23 al 27 de mayo de 1999, obteniendo los siguientes resultados:

1) La separación entre espejo primario y secundario para lograr hacer foco a 310 mm bajo la platina fue de 4358 ± 1 mm.

2) La amplificación de movimiento del secundario en esta posición es de 142:1. La carrera del mecanismo de enfoque del secundario (23 mm) es suficiente para llevar el foco a cualquier posición entre 0 y 1000 mm bajo la platina. El secundario quedó a 5 mm del límite superior de esta carrera. El despliegue de foco en el cuarto de observación corresponde a $4 \mu\text{m}$ por cada décima, lo que da suficiente resolución para lograr un enfoque correcto. Se recomienda controlar el foco ya que con esta amplificación se tendría un desenfoque de $0.5''$ por cada grado centígrado de variación térmica.

3) La imagen óptica en foco presenta un pico central angosto (FWHM de $0.6''$) con radiación dispersa de baja intensidad con tres componentes: una en forma de estrella (debido al rayado del secundario) y que desapareció posteriormente con el aluminizado (dorado) correcto, mas un anillo de baja intensidad debido a esfericidad, y radiación dispersa amorfa debida a aberraciones de orden superior y a polvo sobre el espejo primario durante la prueba. La imagen a 10 micras se ha observado limitada por difracción.

4) En un campo de $1'$ la imagen no se degrada apreciablemente. Incluso la imagen vista con el guiador en el extremo de su campo es suficientemente buena para guiar.

5) El astigmatismo del sistema completo (primario+secundario) puede ser atribuido principalmente al primario, ya que las correcciones más importantes a la suspensión activa del primario fueron muy parecidas a las correcciones que se utilizan para el f/13.5. Sin embargo, no se logró una compensación completa del sistema, probablemente influenciado residualmente por aberraciones de orden superior, con alrededor de 150 nm RMS.

6) La esfericidad del sistema es grande, ya que para obtener imágenes extrafocales de un mismo diámetro hay que desplazarse 1.5 veces más para extrafocales que intrafocales.

7) El secundario está subdimensionado para un primario aproximadamente 15 cm menor, de acuerdo a lo requerido para no ver el piso durante la oscilación del secundario. Con esto el sistema completo resulta ser f/30 en vez de f/27.

1.4.2 Mecánica y control

El secundario ha sido instalado en la misma montura que se utilizaba para el espejo anterior, ya que ambos presentan dimensiones muy similares, aunque se requirió realizar adaptaciones mecánicas importantes.

La electrónica de control es básicamente la misma (Roth et al. 1984), aunque fué reentonaada para lograr estabilidad en frecuencias de oscilación más bajas y con distinto momento de inercia. Las frecuencias son establecidas por la PC-CID y el programa de control. Los otros

parámetros del secundario oscilante, como son la amplitud del tiro, el offset y el amortiguamiento, se controlan analógicamente.

1.5 Sistema criogénico

El crióstato del CID es mantenido a temperaturas criogénicas mediante un sistema de cabezas expansoras y helio recirculante. El sistema consta de un compresor y dos cabezas expansoras. Una de ellas se encarga de enfriar todo el banco óptico interno hasta una temperatura de 25 K, mientras que la segunda únicamente lleva al detector BIB hasta 7.5 K. El detector InSb cuenta con un calentador para elevar su temperatura de operación a 30 K. El contenedor criogénico cuenta con 3 etapas de bloqueo de radiación térmica (subcontenedores) para evitar pérdidas. Opera en vacío y cuenta con una trampa molecular de zeolite.

1.6 Control de movimientos

El sistema cuenta con 5 motores de pasos encargados de realizar los movimientos de filtros BIB, filtros InSb, rejillas InSb, rendijas InSb y lámparas de comparación.

Capítulo 2

INSTALACION DEL CID EN TELESCOPIO

Las labores de evacuación y enfriado deberán comenzar al menos 30 horas antes de comenzar una temporada de observación. Los procesos de horneado, evacuación y enfriado, pueden realizarse sin necesidad de que el CID esté instalado en el telescopio.

2.1 Horneado de detector InSb

Como parte de una rutina **anual** de mantenimiento es necesario hornear el detector InSb para limpiarlo de impurezas que afectan su desempeño. Esto hay que hacerlo días antes de comenzar a enfriar. El procedimiento se describe en la pag. 20 del Manual de IR Labs. Como aclaración al manual, el switch térmico se abre girándolo CCW 20 vueltas. Se cierra en sentido opuesto hasta que aprieta. Este switch al cerrarse conecta el dedo frío a la cabeza enfriadora.

2.2 Evacuación de la botella criogénica

Antes de comenzar a enfriar habrá que realizar vacío. Con la bomba, verificar que el vacío sea al menos de 5×10^{-5} . Continuar evacuando mientras se enfría. Suspnda la evacuación cuando la temperatura llegue a 150 K, que es la temperatura a la que la trampa de carbón activado comienza a funcionar.

2.3 Enfriado de la botella criogénica

2.3.1 Compresor de helio y cabezas expansoras

El proceso de enfriado toma 18 horas. Conectar compresor a línea trifásica. Conectar mangueras con cuidado de identificar **supply** y **return**. La salida de **supply** del compresor va a una

derivación en Y que conecta a las entradas de **supply** de las dos cabezas refrigerantes y lo mismo para el **return**. Conectar la línea de potencia de compresor a las cabezas enfriadoras. También hay una Y para la parte eléctrica.

Antes de encender el compresor, checar la presión de reposo de Helio en las líneas es alrededor de 200 PSI en el indicador de **return pressure**. Si la presión está muy baja, es necesario adicionar helio de ultra alta pureza (99.999 %). Conectar tanque de helio con regulador ajustado a 200 PSI. Purgar línea y puerto de recarga del compresor (gas charge) dejando escapar poquito helio. Conectar línea en puerto. Establecer presión en línea. Abrir la válvula de recarga lentamente mientras se ve el indicador de return pressure. Subir hasta 200 PSI y cerrar. Si la presión está demasiado alta, dejar escapar helio muy despacio, viendo el efecto en el indicador de return pressure.

Encender el compresor. Verificar la presión de operación La “supply pressure” se va como a 300 PSI y return pressure debe estar entre 60 y 130 PSI (100 PSI nominal). El “return pressure” debe estar fuera de las zonas marcadas en rojo en el indicador. La cabeza chica (modelo 22) enfría únicamente al detector BIB, por lo que es mucho más rápida. Esto no es conveniente ya que el detector actúa entonces como trampa fría. Por esto no es conveniente dejarla funcionando al principio. Una vez que se ha verificado que funciona, habrá que desconectarla y volverla a conectar 12 horas después, cuando la temperatura interior sea ya de unos 100 K - 150 K.

Verificar el ruido (acústico) que hacen las cabezas expansoras.

- Cabeza chica modelo 22: 3 soplidos por segundo. En cada soplido se escuchan 3 golpes: cco (corchea-corchea-negra), o sea que en un segundo se oye cco cco cco. El soplido debe ser como de aire en un fuelle. A veces se escucha un golpe fuerte y seco recién al comenzar a trabajar, (un solo golpe por segundo). Éste debe desaparecer en unos 10 minutos.
- Cabeza grande, modelo 350: una respiración por segundo. Cada respiración consta de una inhalación larga y una exhalación corta. En cuatro tiempos será ncs (negra-corchea-silencio).

Si el ruido es notablemente diferente desde un principio y la temperatura aumenta en vez de disminuir, es posible que las fases en la línea trifásica estén invertidas. La alimentación a las cabezas viene del compresor y consiste de dos fases y neutro generadas a partir de L1 L2 y L3, pero distintas a cualquiera de ellas. Hay dos fusibles dentro del compresor y puede fallar uno solo.

En caso que se escuche golpeteo en las cabezas, como cascabeleando, particularmente si el sistema lleva encendido más de unos 20 minutos, es posible que exista impureza en las cabezas. Proceder a realizar un purgado. Hay dos formas posibles de hacerlo:

Purgado parcial de helio. Apagar el compresor. Dejar escapar el helio hasta que la presión baje a 100 PSI. Conectar el tanque con helio ultra-alta pureza (99.999%) y llevar la presión a 200 PSI. Hacer operar el compresor y las cabezas durante 10 minutos y volver a apagar. Repetir la operación de purgado una vez más.

Purgado total: Apagar compresor. Dejar escapar todo el helio. Desconectar la línea de supply pressure del compresor y conectar la bomba de vacío. Hacer vacío por un buen tiempo. Recargar helio por el puerto de recarga. Esta operación se lleva como 500 PSI de un tanque normal.

Tabla 2.1: Caja negra.

Perilla	Posición	LEYENDA	Cable conectado
A	1	Out shield	CWS
A	2	BIB Sensor	BIB
B	1	InSb detector	InSb
B	2	Inner shield	InSb FWB

Nota: Las perillas deben permanecer en las posiciones **A-2** y **B-1**

2.3.2 Control de temperatura

Al comenzar a enfriar será necesario encender el controlador de temperatura (Lakeshore) para evitar que el detector InSb se enfríe demasiado. Su temperatura debe regularse en 30 K. Encender controlador de temperatura. Las perillas de la caja negra deben estar en las posiciones **A-2** y **B-1**. Con esto se desplegarán las temperaturas del detector BIB (en A) y del detector InSb (en B). Para verificar que la temperatura de control del InSb sea 30°K, oprimir el botón que dice SP (set point). Debe aparecer 30 en el display de B. Para salir apretar el botón que dice Control (+/-). Además en este momento debe oprimirse el botón que dice **heater**, para que comience el control de temperatura. Un indicador LED rojo debe cambiar de OFF a LOW, con el mismo botón de heater llevarlo a MED. Las otras posiciones de las perillas A y B **solo pueden usarse momentáneamente** y son como se muestra en la Tabla 2.1.

2.4 Sujeción a platina y conexiones

2.4.1 Sujeción

Para llevar al CID al telescopio se debe interrumpir el proceso de enfriado apagando y desconectando las mangueras del compresor, condición que puede mantenerse sin riesgo de que se caliente demasiado hasta por espacio de una hora. Entonces se deberá instalar el CID en la platina, orientado N-S (cabezas expansoras al W). Las mangueras de helio deberán sujetarse a la platina para evitar jalones sobre las cabezas expansoras.

2.4.2 Conexiones

El CID tiene la mayor parte de su electrónica permanentemente conectada y apoyada en la misma montura del instrumento. La Fig. 2.1 muestra los distintos componentes electrónicos.

Realice las siguientes conexiones:

- Conecte la caja de las fibras ópticas a la computadora dedicada al PC-CID (*elcid*), usando el cable correspondiente.
- Conecte el convertidos ethernet 192.168.0.94 a la red y al control del secundario oscilante mediante cable coaxial.

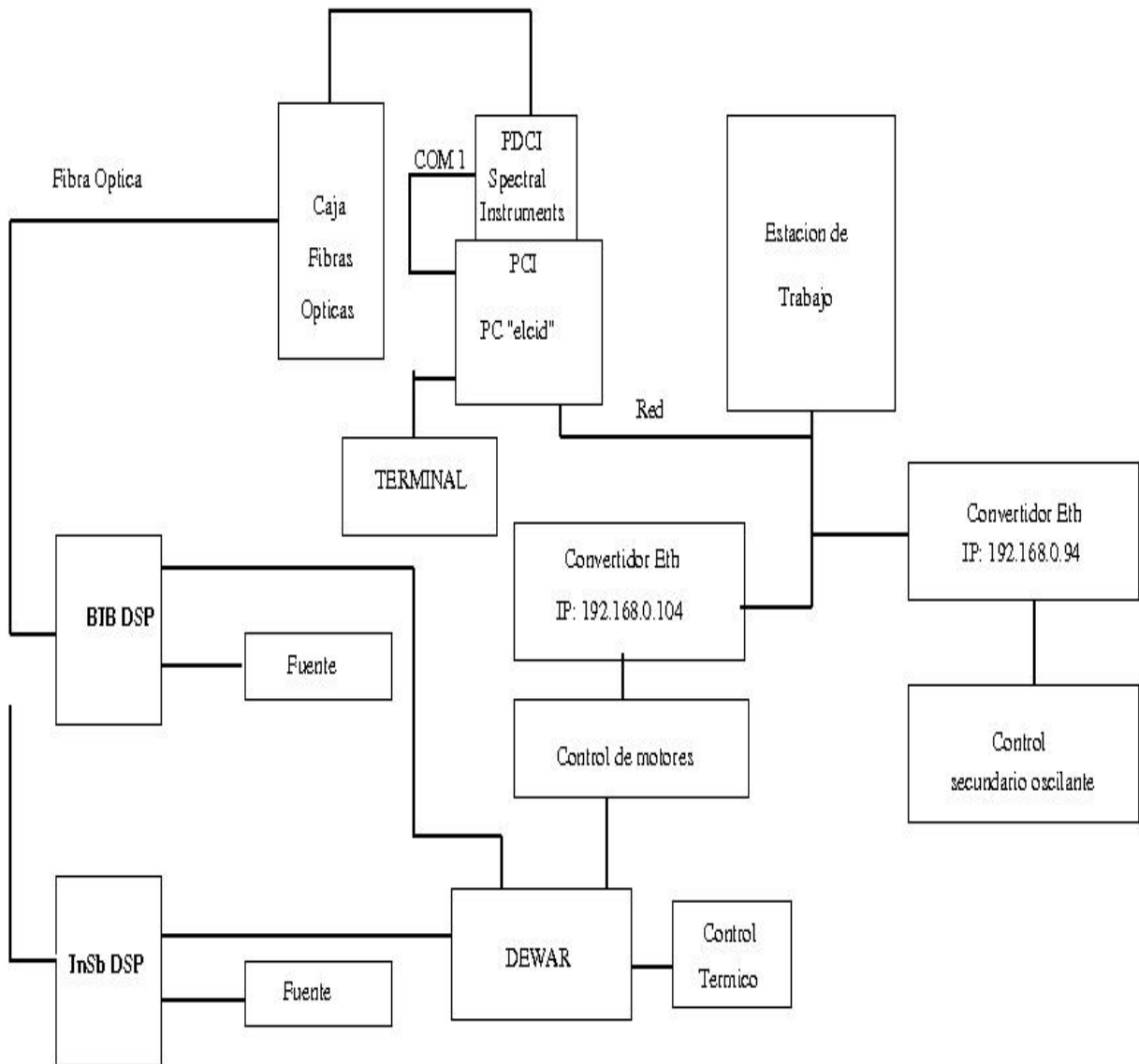


Figura 2.1: Componentes electrónicos.

Tabla 2.2: Posición de cámaras

CAMARA	Carátula N	Carátula S	Posición N-S
InSb	200	—	3.2 cm
BIB	—	300	22.3 cm

- Conecte el convertidor ethernet 192.168.0.104 a la red y al controlador de motores de ruedas de filtros, mediante conector DB9.
- Conecte las fibras ópticas entre la caja de fibras y la electrónica del detector.
- Conecte el cable de la red a la computadora.
- Encienda la fuente de alimentación del detector.
- Encienda la caja de control de los motores.
- Encienda la caja de las fibras ópticas en el cuarto de observación. Debe encenderse el “led” de color rojo de esta caja, ubicado a la izquierda del panel frontal de la caja, y el “led” de color verde de la derecha. Si el “led” verde no enciende, significa que las fibras ópticas están invertidas. En este caso, cambie la posición de las fibras ópticas.
- Las observaciones se llevan a cabo directamente desde la computadora PC *elcid*, en la cuenta observa. El usuario es observa con password 00.observa.
- También se puede acceder desde *sonaja* si se exporta el display de *elcid*.
- Oprima ahora el botón de reset ubicado en el panel frontal de la caja de fibras ópticas.

2.5 Selección de cámara y alineación

La montura del CID tiene varios grados de libertad, tanto para permitir el cambio de cámara, desplazándose norte sur, como para el centrado fino tanto en esta dirección como la perpendicular, y los ángulos de inclinación N-S y E-W. El objetivo de estos ajustes es minimizar la radiación de fondo mediante enmascaramiento del agujero del primario y los alrededores del mismo, con el stop de Lyot, a la vez que maximizando la señal. Esto se logra principalmente con los ajustes de inclinación.

La posición de la cámara se ajusta mediante dos indicadores de carátula situados uno en la parte norte y otro en la sur. Cuando se utiliza el CID-InSb se verifica su posición mediante la carátula del norte, mientras que la del sur indicará la posición del CID-BIB. Las posiciones de cada uno se presentan en la Tabla 2.2. Alternativamente, la posición de la cámara se mide en centímetros entre dos piezas ubicadas del lado este de la montura, como se muestra en la Fig. 2.2. En la Tabla 2.2 se incluyen las posiciones nominales para estas dos cámaras.

La posición E-W se mide como se indica en la Fig. 2.3) en dos puntos (E y W). Los valores para el centrado E-W de la óptica de salida respecto a la platina son $E = 1.886$ y $W = 2.339$ pulgadas. Estos valores son iguales para ambas cámaras CID-InSb y CID-BIB.

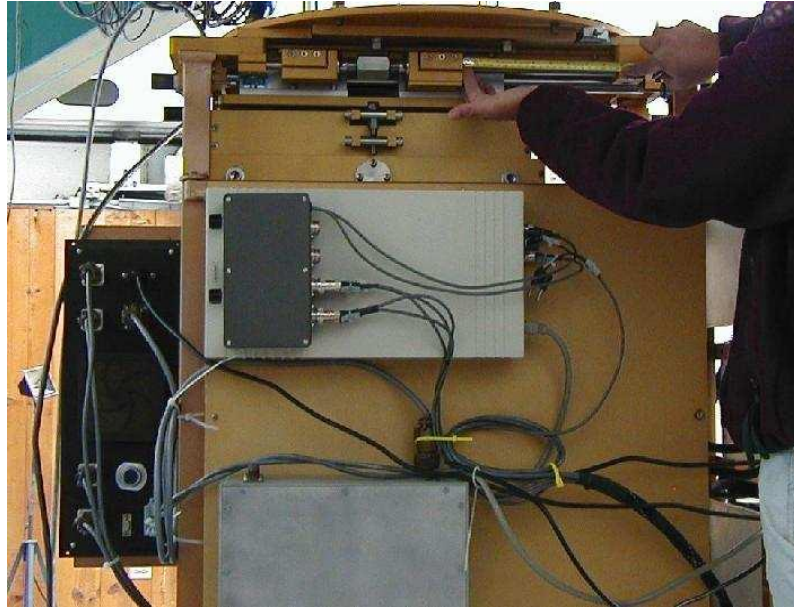


Figura 2.2: Seleccionando cámara.

Tabla 2.3: Inclinación de las cámaras

	BIB	InSb
Carátula N	325 mpulg	250 mpulg
Carátula W	653 mpulg	600 mpulg
NE	2.741 pulg	2.740 pulg
SE	2.838 pulg	2.740 pulg
NW	2.646 pulg	2.740 pulg
SW	2.724 pulg	2.740 pulg

Las inclinaciones E-W y N-S se calibran mediante indicadores de carátula ubicados en el lado W (para la inclinación E-W) y el lado N (para la inclinación N-S). La posición de estos indicadores se presenta en la Tabla 2.3. Alternativamente, los ángulos de inclinación E-W y N-S se miden como distancias en cuatro puntos de la montura, indicados en la Fig. 2.4), y que se ubican e identifican como NE, SE, NW y SW. El valor alineado (sept/2000) de las cuatro distancias se muestran en la Tabla 2.3. El valor nominal para cero inclinación es 2.740 en las 4 esquinas.

El procedimiento para el centrado en los distintos ejes es como sigue:

- Posición N-S. Ubicar los 3 bloques grandes con 3 prisioneros allen cada uno (seguros N-S), que se encuentran sobre los rieles N-S, dos de ellos en la cara E y uno en la cara W (ver detalle Fig. 2.3). Aflojar todos (9) los prisioneros allen. Desplazar el dewar N-S teniendo cuidado de los cables y mangueras. Para un ajuste fino se puede apretar uno de los bloques del Este y girar la contratuerca que se encuentra en medio. Al finalizar, apretar todos los prisioneros.

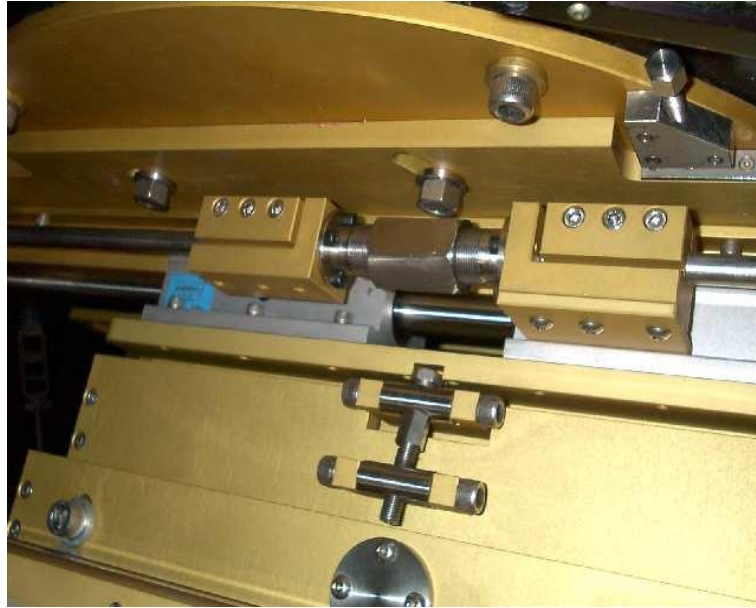


Figura 2.3: Detalle lado Este.

- Posición E-W. Ésta se logra girando la montura respecto de su propia platina, que tiene el eje de giro en la parte Sur de la montura. Con una llave aflojar las cuatro tuercas (seguros E-W) que se muestran en la Fig. 2.3, que actúan como frenos. Ubicar dos tornillos largos (ajuste pos E-W), uno en el E y otro en el W y aflojar uno para apretar el contrario, desplazando así la montura.
- Inclinación N-S. Aflojar los 4 seguros que se ubican dos en la cara E y dos en la cara W (Fig. 2.3)) y girar la tuerca del actuador Inc N-S que se ubica en la cara S. Volver a apretar los seguros.
- Inclinación E-W. Aflojar los 4 seguros que se ubican dos en la cara N y dos en la cara S y girar la tuerca del actuador Inc E-W que se ubica en la cara Este (Fig. 2.3)). Volver a apretar los seguros.

2.6 Apagado del sistema

El orden de apagado no es importante. La PC del CID se apaga con la opción shutdown del menú principal. O bien con el comando sudo shutdown que requiere del password 00.observa.



Figura 2.4: Midiendo inclinación en el punto NE.

Capítulo 3

CID-BIB

3.1 Linealidad, saturación y ganancia

En la Fig. 3.1 se muestra señal mediana contra tiempo de integración para un cuadrante típico del detector. La señal es la radiación de fondo vista desde el telescopio con un filtro angosto, expresada en conteos para una sola lectura del detector (cuadro). El tiempo de integración es variable entre 3 y 120 ms. Se observa no linealidad mayor al 10% después de los 50,000 conteos. Como en la mayoría de las observaciones la radiación de fondo es mucho mayor que la señal del objeto que se está estudiando, no es de esperarse que se requieran correcciones por no linealidad. La saturación del detector ocurre a 64,000 conteos (ADU), y dado que la capacidad del pozo de integración es de $2.1 \times 10^7 e^-$, se tiene una ganancia de $330 e^-/\text{ADU}$.

La corriente oscura y el offset electrónico se midieron integrando con un filtro opaco con un pequeño agujero (PH en la rueda), viendo la imagen de la parte central de stop de Lyot. Con esto se determinó una corriente oscura de 51 conteos / ms ($1.7 \times 10^7 e^-/s$) y un offset electrónico de 1400 conteos extrapolado a señal cero (ver Tabla 1.1).

3.2 Ruido intrínseco

El ruido se calcula tomando parejas de cuadros con tiempos de integración entre 3 y 30 ms a través de un filtro angosto con el telescopio apuntando al cielo. Entre una imagen y otra de cada pareja hay 50 ms de retardo debido a la transmisión y no se espera que cambie sustancialmente el fondo. La diferencia entre cada pareja se reordena por cuadrantes, separando la imagen de cada cadena electrónica, y se analiza cada una de estas subimágenes tomando su RMS, lo cual define el ruido del detector. La señal es simplemente el valor medio (o mediano) de cualquiera de estas imágenes.

La mayor fuente de ruido en el detector originalmente se debía a la generación de electrones secundarios (Sohn et al. 2001), como consecuencia de un voltaje de polarización (recomendado por el fabricante) que resultó inadecuado. En la Fig. 3.2 se muestra el comportamiento de la razón señal a ruido (S/R) contra el tiempo de integración para distintos valores del voltaje DET SUB (en décimas de volt). Claramente se ve que el valor recomendado de 3.0 volts produce un resultado muy inferior al que finalmente se adoptó de 4.2 volts.

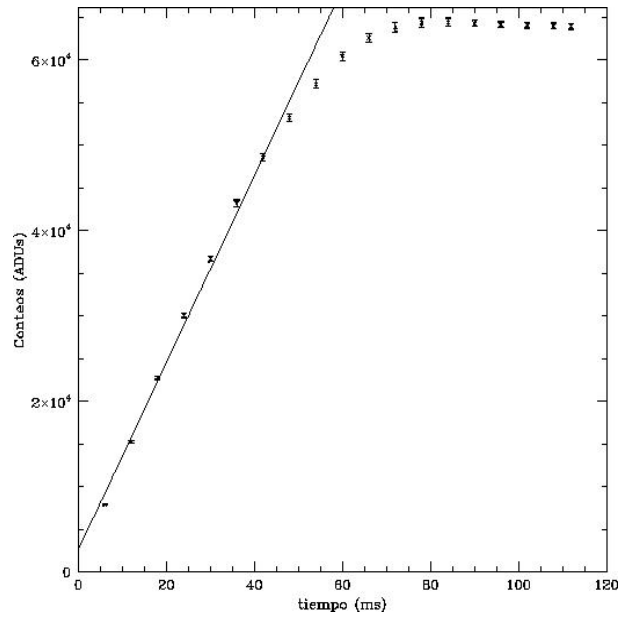


Figura 3.1: Curva de saturación del BIB.

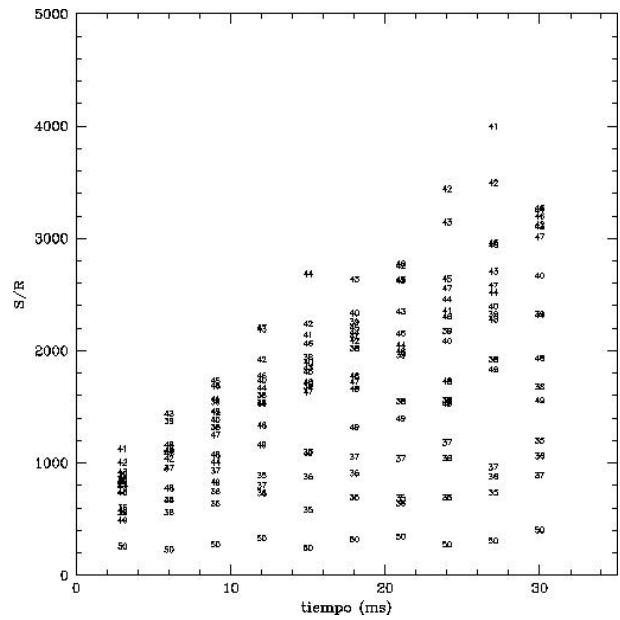


Figura 3.2: Señal a ruido contra tiempo de integración para distintos voltajes DET SUB (en décimas de volt).

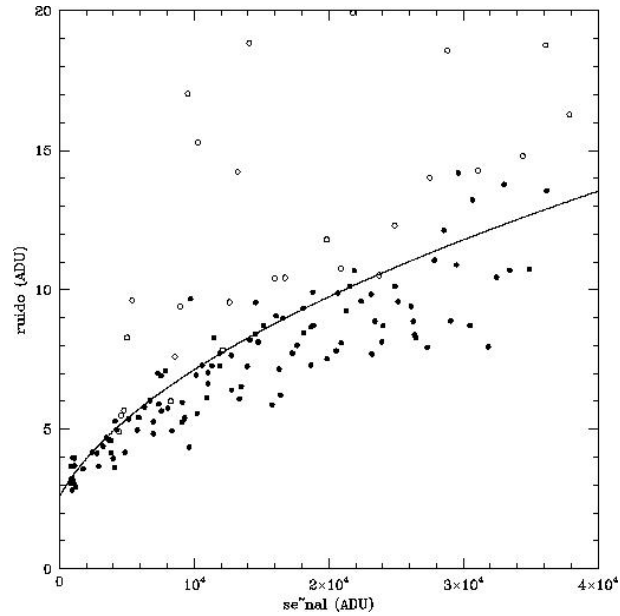


Figura 3.3: Ruido contra señal. Ver Sección 3.2

Con un voltaje DETSUB mayor que 4 volts, en general se tiene un comportamiento poissoniano para el ruido, como lo muestra la Fig. 3.3. Los puntos negros corresponden a voltajes mayores de 4 volts y los vacíos a voltajes menores. La línea sólida corresponde al ruido esperado por ruido de fotones, ruido de disparo y ruido de lectura para los siguientes parámetros: Ruido de lectura: $850 e^-$, eficiencia cuántica: 0.5, y ganancia: $330 e^-/ADU$. Los resultados y análisis del detector BIB se presentaron en Sohn et al. 2001.

3.3 Ruido a baja frecuencia

Los detectores tipo BIB muestran un exceso de ruido cuando se operan a bajas frecuencias, sobre el ruido que se observa a altas frecuencias. Este ruido se conoce como “current dependent excess low frequency noise (ELFN)”. En la Fig. 3.4 se muestra este ruido. Las imágenes para calcular el ruido son parejas de imágenes obtenidas consumando cuantos cuadros son necesarios para llegar a la frecuencia deseada, pero sin hacer oscilar realmente el secundario. El ruido se evalúa por cuadrantes como la desviación cuadrática media de cada pareja de imágenes y se expresa por unidad de cuadro (conteos/frame). La línea sólida es del tipo (Hoffmann et al. 1998)

$$ELFN = \frac{Lfn - Hfn}{1 - (f/f_0)^2} + Hfn$$

en donde Lfn es el límite del ruido en bajas frecuencias y Hfn en altas frecuencias, f es la frecuencia de oscilación y f_0 es la frecuencia característica a la que comienza el ELFN. De la Fig. 3.4 se puede ver que $f_0 = 1.2$ Hz y $Lfn = 2.5 Hfn$. De esto se tiene que para frecuencias de oscilación menores a 1.2 Hz hay un incremento en el ruido de un factor hasta 2.5 veces. Por otro lado, arriba de 3 Hz la ganancia por disminución en el ruido es despreciable.

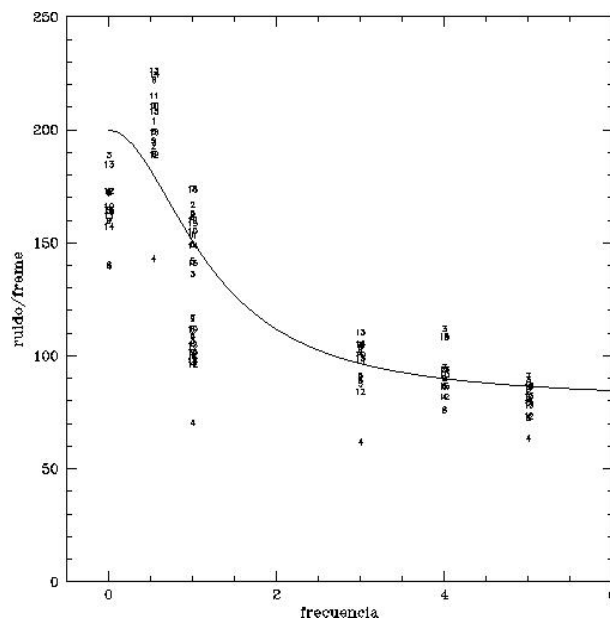


Figura 3.4: Ruido a baja frecuencia (ELFN). Los números indican cada cuadrante del detector.

3.4 Filtros y fotometría

El CID-BIB tiene una rueda de filtros de 10 posiciones que incluyen actualmente los 6 filtros de la serie de silicatos (NPQR y S), un filtro N y dos filtros en 17-18 micras, además de una posición ocupada por un “pin hole” (para propósitos de alineación). La Tabla 3.1 muestra las características de estos filtros. Las curvas de transmisión se incluyen en el Apéndice I. Se ha realizado fotometría de los datos obtenidos en las temporadas del 2000, 2001 y 2002. Los puntos cero de esta fotometría se muestran en la misma tabla. El punto cero se define aquí como

$$m_* + 2.5 \log(c/s)$$

donde m_* es la magnitud de la estrella estándar y c/s es el número de cuentas por segundo (ojo: no por cuadro), integrado en una apertura circular de 4" de diámetro. Los coeficientes de extinción medios (k) son para temporadas en 2001 y 2002 y se calculan de acuerdo a

$$m_* = -2.5 \log(c/s) - k(ma - 1) + Zero.$$

Donde ma es la masa de aire y $Zero$ el punto cero.

La magnitud límite que se puede alcanzar a S/R de 1 en un minuto de integración para una apertura de 4" es 6.7 en el filtro N. El límite en objetos extendidos corresponde a un brillo superficial de 47 mJy².

Los niveles de fondo (background) en cuentas por cuadro de 3 milisegundos, se obtuvieron de las mismas observaciones. Estos niveles incluyen el offset electrónico de ≈ 1800 cuentas. Se observó una ligera dependencia del fondo con τ , la profundidad óptica a 215 GHz, obtenida con el radiómetro del OAN (Programa gettau, D. Hiriart), a razón de 10% por cada $\Delta\tau \approx 0.1$. Las variaciones observadas en los puntos cero son inferiores al 20%, aunque dentro de una misma noche parecen mantenerse estables dentro de un 10%.

Tabla 3.1: Filtros BIB.

Filtro	Pos	λ^a	$\Delta\lambda^a$	Trans. ^a (%)	Flujo ₀ ^b (Jy)	Punto ^c cero	k extinción	Fondo ^d
Si N	95	7.734	0.696	94.6	65.3	10.72	0.49	–
Si O	595	8.738	0.777	94.6	53.0	11.86	0.10	–
Si P	1095	9.689	0.930	92.0	42.3	11.49	0.26	–
Si Q	1595	10.294	1.010	79.7	38.5	11.62	0.04	–
Si R	2095	11.661	1.110	79.6	30.5	11.44	0.08	–
Si S	2595	12.499	1.190	87.8	26.4	11.13	0.09	–
N	3095	10.875	5.622	93.4	39.8	—	–	–
PH	3595	–	–	–	–	–	–	–
Q2	4095	18.75	0.85	–	11.03	7.87	0.65	–
QH2	4595	17.15q	0.43	–	12.03	6.79	0.65	–

^a λ (μm), $\Delta\lambda$ (μm) y transmisión (%) del fabricante.

^b Flujo (Jy).

^c Punto cero al 20%, ver texto.

^d Fondo

3.5 Estrellas estándar para el Mediano-IR

Las listas de estrellas estándar en el Mediano-IR están realmente en construcción para detectores bidimensionales. Una lista antigua del IRTF (Tokunaga 1984, AJ, 89, 172) de 23 estrellas brillantes puede ser utilizada y está en el cuarto de observación (carpeta CID). De estas estrellas α Tau es la más estudiada como prototipo de estándar (como Vega en el óptico), ver Cohen et al. 1999, AJ, 117, 1864 (el X de Cohen et al., que resume los anteriores) para calibración radiométrica y Hammerseley para modelo de luminosidad.

En la Tabla 3.2 presentamos una lista muy útil del instrumento OSCIR del Geminis (omitiendo las estrellas sureñas) que vienen de Cohen et al. 1999.

En la Tabla 3.3 también incluimos estrellas calibradas con los filtros del CID-BIB publicados por Salas, Cruz-González & Tapia 2006, RMxAA, 42, 273. Estas 7 estrellas para calibrar el CID-BIB fotométricamente se obtuvieron de la lista de Cohen y colaboradores; las cuales definen una muestra de estrellas estándar calibradas radiométricamente (Cohen et al. 1992a, 1992b, 1995, 1996, 1999). Para cada estrella de la Tabla 3.3 calculamos el flujo isofotal esperado del espectro de irradiancia dado por Cohen, lo convertimos a F_ν a la longitud de onda central de cada filtro y calculamos la magnitud relativa al modelo de Vega tomada como 0.

3.6 Imágenes CID-BIB

La óptica de la cámara del CID-BIB genera escalas de placa distintas en ambas direcciones. Estas son: en x (E-W) 0.55 "/pixel y en y 0.46 (N-S) "/pixel, que resultan en un campo de 70" \times 58"

Tabla 3.2: Estrellas Estándar Mediano-IR.^a

Nombre	AR (2000.0)	DEC (2000.0)	Tipo Espectral	K (mag)	N (mag)
Cohen Primary Standards					
α CMa	06 45 09.250	-16 42 47.31	A1 V	-1.37	-1.35
α Lyr	18 36 55.704	+38 46 56.34	A0 V	0.00	0.00
Cohen Secondary Standards					
β And	01 09 43.924	+35 37 14.01	M0 III	-1.89	-2.05
α Cet	03 02 16.773	+04 05 23.06	M1.5 IIIa	-1.7	-1.7
α Tau	04 35 55.239	+16 30 33.49	K5 III	-2.90	-3.02
β Gem	07 45 18.950	+28 01 34.32	K0 IIIb	-1.12	-1.22
α Hya	09 27 35.243	-08 39 30.96	K3 II-III	-1.22	-1.31
μ UMa	10 22 19.740	+41 29 58.27	M0 III	-0.85	-1.03
α Boo	14 15 39.672	+19 10 56.67	K1.5 III	-3.04	-3.14
γ Dra	17 56 36.370	+51 29 20.02	K5 III	-1.38	-1.48
β Peg ^b	23 03 46.457	+28 04 58.03	M2.5 II-III	-2.29	-2.44
Other Standards					
α Aur	05 16 41.359	+45 59 52.77	G5 IIIe	-1.8	-1.94
γ Aql ^c	19 46 15.580	+10 36 47.74	K3 II	-0.58	-0.78

(a) From OSCIR/Gemini Mid-IR Standards.

(b) Variable at 10 % level, but useful.

(c) with template in Cohen's Xth paper

!

Tabla 3.3: Estrellas de Cohen+ calibradas radiométricamente.*

Filter	α Tau (mag)	α Boo (mag)	β And (mag)	β Gem (mag)	β Peg (mag)	μ UMa (mag)	α CMa (mag)
SiN	-2.97	-3.11	-2.00	-1.21	-2.37	-0.83	-1.35
SiO	-2.95	-3.11	-1.98	-1.21	-2.38	-0.85	-1.35
SiP	-3.01	-3.16	-2.06	-1.22	-2.44	-0.93	-1.36
SiQ	-3.05	-3.18	-2.10	-1.22	-2.47	-0.97	-1.35
SiR	-3.06	-3.18	-2.12	-1.22	-2.49	-1.00	-1.35
SiS	-3.07	-3.18	-2.12	-1.22	-2.49	-1.00	-1.35
N	-3.00	-3.15	-2.04	-1.22	-2.43	-0.92	-1.35
QH2	-3.05	-3.17	-2.11	-1.23	-2.51	-1.00	-1.34
Q2	-3.06	-3.19	-2.12	-1.23	-2.52	-1.00	-1.34

* Tomada de Salas, Cruz-González & Tapia 2006, RMxAA, 42, 273.

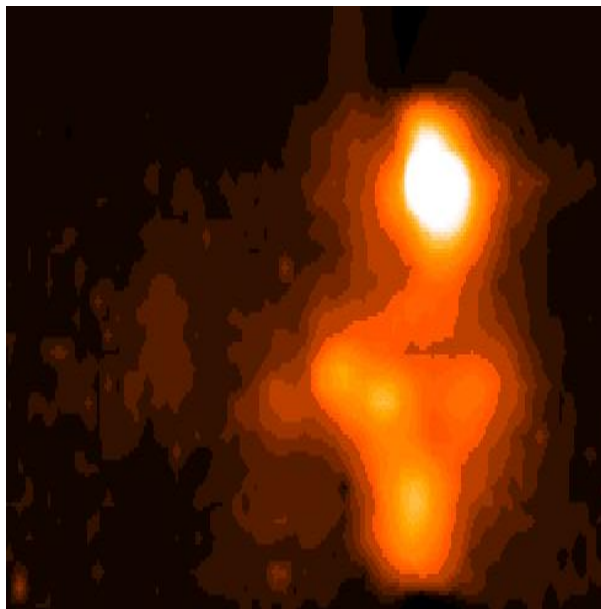


Figura 3.5: Cúmulo infrarrojo en OMC-1.

(70 arcsec \times 58 arcsec). Las imágenes de primera luz <http://www.astrosen.unam.mx/mt/bib.html> se obtuvieron en la temporada de septiembre (1999). Con las observaciones de noviembre de 1999 se probaron distintos métodos para efectuar el aplanamiento y corrección de las imágenes.

La siguiente imagen en filtro N muestra la región central de OMC-1 en donde se aprecian BN (el objeto más brillante), IRC2 al SE y varias fuentes infrarrojas adicionales. Esta figura es comparable en calidad y tiempo de integración a la obtenida por Gezari et al. 1998 en el telescopio IRTF, aunque con filtros diferentes, todos dentro de la banda N.

La imagen presentada se obtuvo con el secundario oscilando a 3 Hz, 47 cuadros de 3 ms en cada posición y un minuto de integración. El campo negativo se encontraba a 20^al norte, por lo que el traslape evita ver la estructura al norte y sur. Los pasos en la reducción de la imagen son: corrección de pixeles malos, aplanamiento de campo y corrección por distorsión geométrica. La corrección de pixeles malos se efectuó con el task fixpix de IRAF, por interpolación de pixeles vecinos. El aplanamiento de campo se llevó a cabo restando al campo Objeto - Cielo, uno similar de Cielo+ - Cielo- y dividiendo entre un campo positivo de alta iluminación (domo) menos un campo positivo de baja iluminación (Cielo +). Esta secuencia elimina los términos diferentes de la función de iluminación del telescopio así como su emisión térmica en haces positivos y negativos. La distorsión geométrica se corrigió con el task de IRAF magnify ($x=1$ y=0.84). La fotometría relativa coincide con la publicada (Gezari et al. 1998) dentro del 5%.

Capítulo 4

CID-InSb

4.1 Linealidad, saturación y ganancia

El detector InSb se puede leer en forma no destructiva, por lo que se lee dos veces en cada integración, lo cual permite eliminar el ruido generado por el reset. De esta manera hay una primera lectura que tiene la señal acumulada durante el mínimo tiempo posible (0.172 seg) y una segunda a la que se resta la primera para tener la señal neta en el tiempo de integración elegido. En la Fig. 4.1 se muestra la señal mediana contra tiempo de integración para los 4 cuadrantes del detector. La señal es el fondo visto desde el telescopio con el CVF (filtro angosto) en $3.2 \mu\text{m}$. Aunque la electrónica satura en 14 bits (16384 conteos), la saturación en la señal se presenta mucho antes ya que la primera lectura ya lleva incluidos el ofset electrónico y la señal que se logró acumular en los primeros 0.172 segundos (en el caso que se muestra en la figura, esto equivale a ~ 3500 conteos). Así tenemos una respuesta lineal dentro de 1% aproximadamente hasta 9500 conteos (o sea, 13000 incluyendo la primera lectura). y posteriormente será necesario relizar correcciones por linealidad.

La saturación del detector ocurre a 15,900 conteos (incluyendo los de la primera lectura), y dado que la capacidad del pozo de integración es de $2 \times 10^5 e^-$, se tiene una ganancia de $13 e^-/\text{ADU}$ (ver Tabla 1.3).

4.2 Ruido intrínseco

El ruido se calculó (en junio 2003) tomando parejas de cuadros con tiempos de integración entre 0.172 y 4 seg a través de un filtro angosto con el telescopio viendo al cielo. Entre una imagen y otra de cada pareja hay 172 ms de retardo debido a la transmisión y no se espera que cambie el fondo. La diferencia entre cada pareja se reordena por cuadrantes, separando la imagen de cada cadena electrónica, y se analiza cada una de estas subimágenes tomando su RMS, lo que define el ruido. La señal es simplemente el valor medio (o mediano) de cualquiera de éstas imágenes. En la Fig. 4.2 se muestra la gráfica de ruido contra señal. La línea sólida muestra el ruido de fotones esperado para un ruido de lectura de 5 conteos ($65 e^-$).

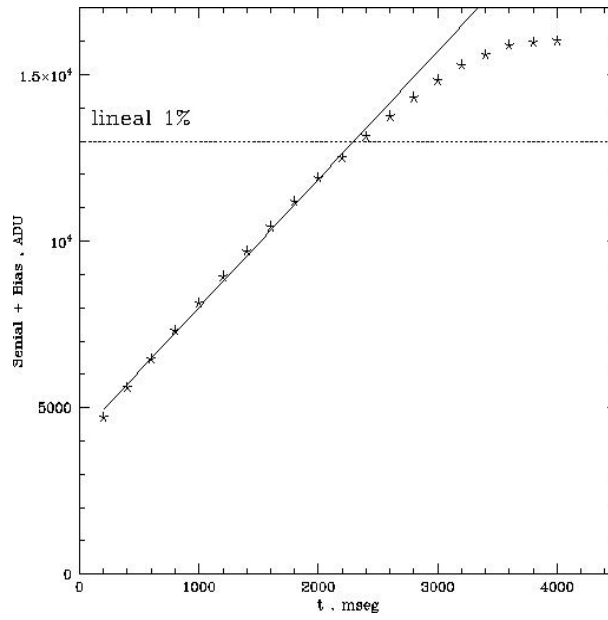


Figura 4.1: Curva de saturación del InSb.

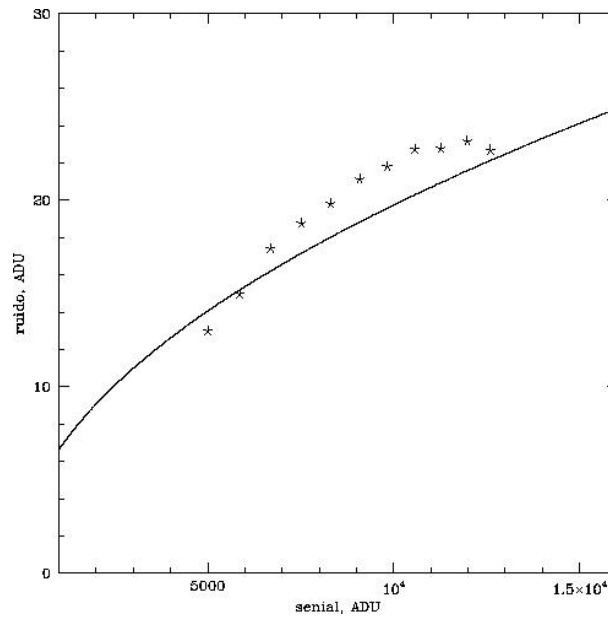


Figura 4.2: Ruido contra señal en el InSb.

4.3 Filtros y fotometría

Se tienen instalados filtros J, H, K, LN (L angosto), LW(L ancho) y un CVF (filtro continuamente variable) en la región de 2 a 4 micras. Las características de estos filtros se muestran en la Tabla 4.1. Los filtros J y H son de Barr, y al igual que los de OCLI presentan fugas al rojo ($\lambda > 4\mu\text{m}$) por lo que no se recomienda utilizarlos para imagen directa y sólo son medianamente útiles en modo espectroscópico. El filtro K de OCLI no tiene fugas, por lo que puede utilizarse tanto en imagen como en espectroscopía. Los filtros LN y LW son OCLI. El filtro LN puede utilizarse en imagen directa en noches de background bajo. El filtro LW es únicamente para modo espectroscópico.

Tabla 4.1: FILTROS InSb

Filtro	Pos	λ^a	$\Delta\lambda^a$	Trans(%) ^a	FONDO ^b
J	5125	1.272	0.28	67	
H	6236	1.650	0.29	58	satura
K	5681	2.185	0.41	84	200
LN	681	3.7	0.12	85	18000 (~satura)
LW	1236	3.51	1.6	85	satura
PinHole	125	—	—	—	satura
CVF ^c	1631-4846	1.9 - 2.5	—	—	6
CVF ^c	1631-4846	3.0 - 3.8	0.05	0.35	3000

^a λ (μm), $\Delta\lambda$ (μm) y transmisión (%) del fabricante.

^b Fondo en cuentas/s.

^c Relación posición- λ (en μm): $pos = 1604\lambda - 1622$. Ver §4.4.

El CVF tiene fuga al rojo en la región de 2 micras, por lo que se utiliza con un filtro K (Bloqueador que transmite 80% de 1.9 a 2.55 μm) en serie. El filtro K se ubica en la rueda de aperturas (posición 5000) que se encuentra en un plano focal. La posición del CVF se relaciona con λ (en μm) por $pos \approx 1604\lambda - 1622$ aproximadamente.

Las magnitudes límite (aproximadas) en un minuto de integración a 3σ en apertura de 4 seg arco son: K=15.8, CVF-K = 12.5 y CVF-L = 8.5. Los puntos cero de la fotometría, para magnitudes instrumentales en cuentas / seg, son: K=19.6, CFV-K=15.9, CVF-L=14.7.

4.4 Rejillas y rendijas

El espectrógrafo cuenta con tres rejillas y dos rendijas largas que se listan (1 a 3) en la Tabla 4.2, una de 100 μm y otra de 200 μm de ancho. En la tabla se listan las resoluciones a primer orden. La Fig. 4.3 muestra la longitud de onda central correspondiente a cada posición del motor de rejillas para los órdenes 1 a 3. El ángulo de blaze se indica con una línea vertical centrada en una franja de ± 5 grados. Un grado de giro corresponde a 111 pulsos en el motor.

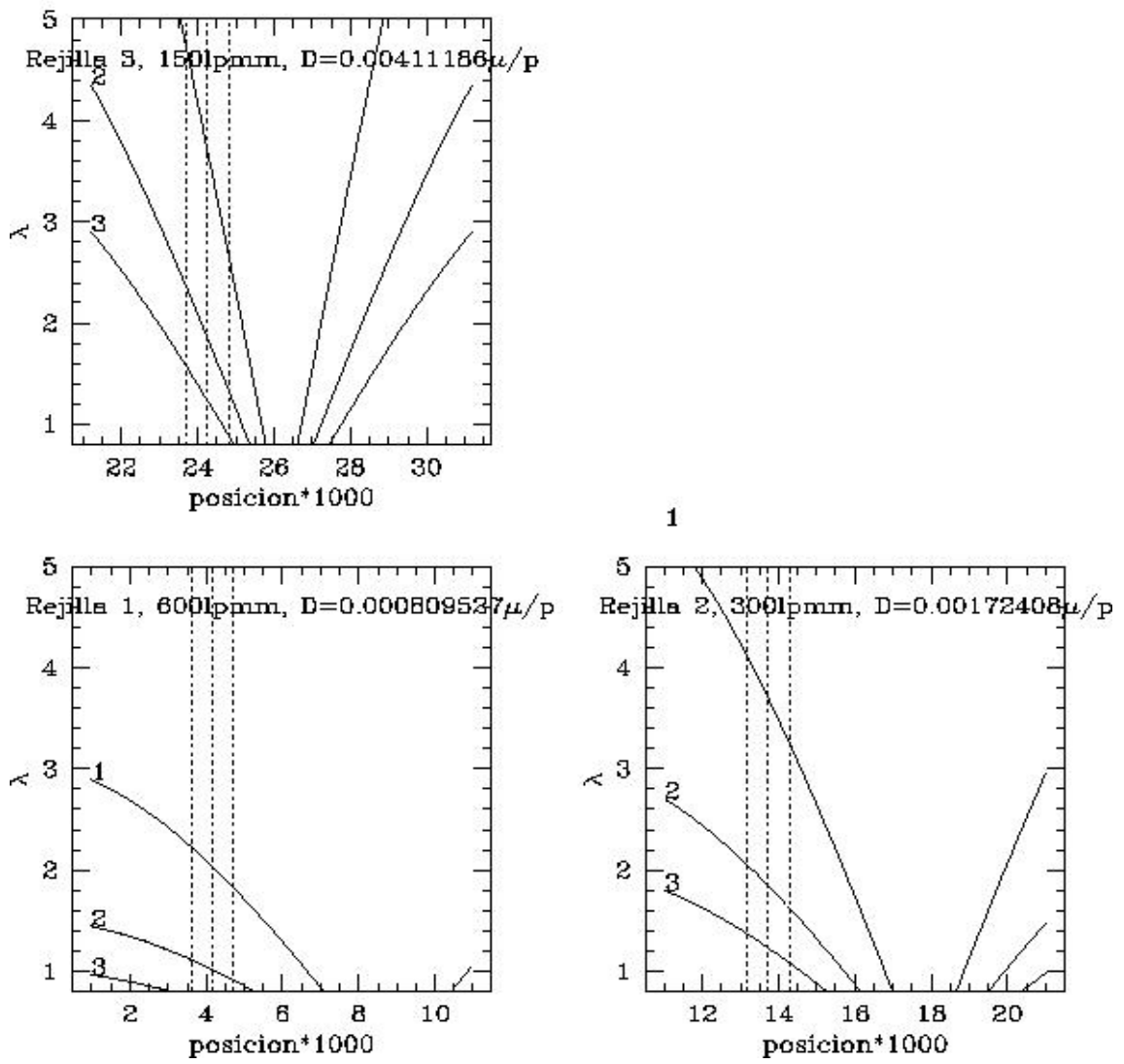


Figura 4.3: Rejillas del espectrógrafo InSb.

Tabla 4.2: Rejillas del espectrógrafo InSb

Rejilla #	Pos orden 0	1/d (lin/mm)	λ Blaze μm	Pos blaze	Relación de dispersión ($\mu\text{m}/\text{pixel}$)	R A=100 μm	R A=200 μm
espejo	36150	—	—	—	—	—	—
1	8600	600	1.96	8015 ?	0.00081	1400	700
2	17600	300	3.53	17582 ?	0.00172	1200	600
3	26050	150	3.23	28113 ?	0.00411	500	250

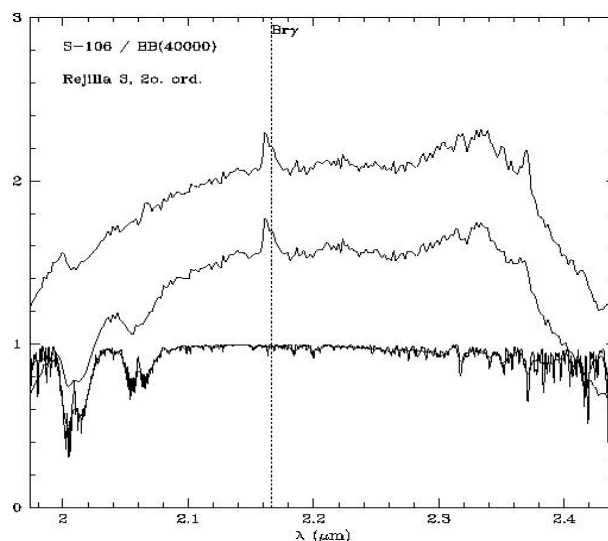


Figura 4.4: Espectro de baja dispersión de S106 en K. La curva inferior es el modelo de absorción atmosférica por Mauna Kea y éste mismo degradado para la resolución. La intermedia el espectro obtenido y la superior el espectro entre el modelo de absorción.

4.5 Espectros

En las siguientes tres figuras se muestran espectros de las estrellas brillantes (en 2 a 4 μm) S 106 y Vega con corto tiempo de integración. Los espectros se obtuvieron a partir de 3 exposiciones en 3 posiciones de la estrella a lo largo de la rendija ancha, con el fin de construir y sustraer un espectro de las líneas de emisión del cielo. No se observaron estándares para la corrección de líneas de absorción. Los espectros fueron reducidos con el task **apall** de IRAF. En cada figura se muestran 3 espectros, el inferior corresponde a un modelo de absorción atmosférica para Mauna Kea (calculado por Gene Milone y disponible en el <http://www.gemini.edu/science/mkmodels/mkabsor.txt>). El segundo espectro corresponde al objeto (dividido entre un cuerpo negro) y el superior es el cociente de objeto entre el modelo de absorción.

La Fig. 4.4 muestra a S-106 en la banda K en baja resolución, mostrando todo el intervalo cubierto en esta banda. La Fig. 4.5 muestra un detalle de la línea *Br γ* en 2.1661 μm en alta

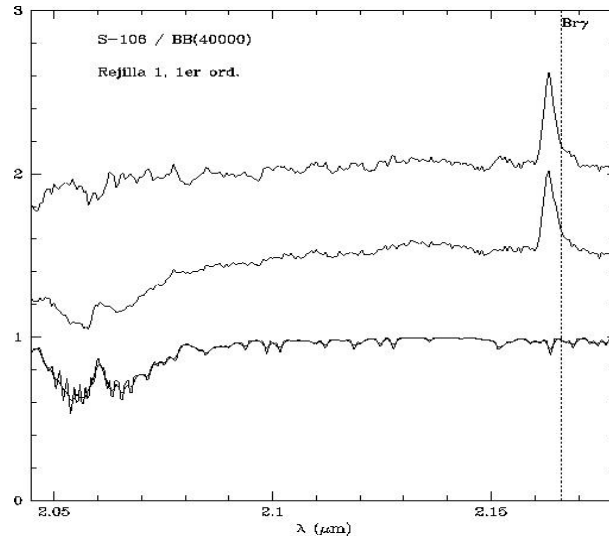


Figura 4.5: Espectro de S106 con dispersión media en K. La curva inferior es el modelo de absorción atmosférica para Mauna Kea y éste mismo degradado para la resolución. La intermedia el espectro obtenido y la superior el espectro entre el modelo de absorción.

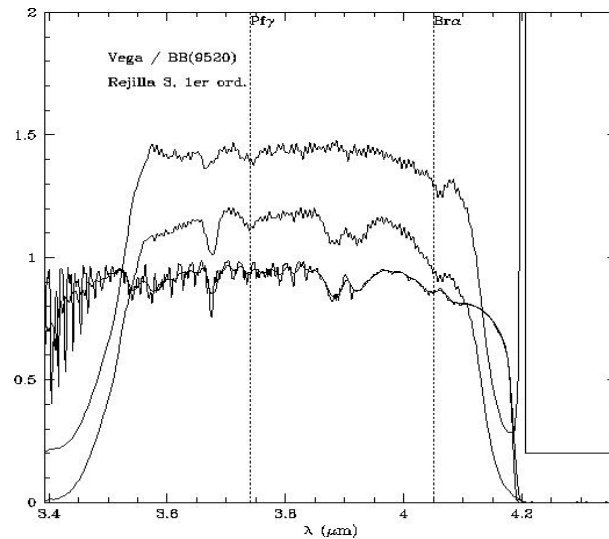


Figura 4.6: Espectro de baja dispersión de Vega en L. La curva inferior es el modelo de absorción atmosférica par Mauna Kea y éste mismo degradado para la resolución. La intermedia el espectro obtenido y la superior el espectro entre el modelo de absorción.

resolución. La Fig. 4.6 corresponde al espectro de Vega en $3.6 \mu\text{m}$, mostrando el intervalo cubierto por un filtro L angosto que fue reemplazado por uno más ancho.

4.6 Espectro de emisión del cielo observado con el CID-InSb en banda L

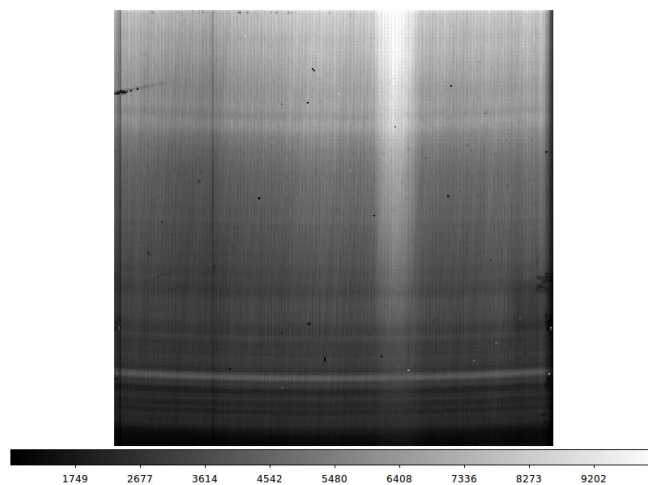


Figura 4.7: Espectro del cielo en banda-L.

Para la calibración de espectros en la banda L obtenidos con el espectrógrafo InSb del CID-InSb se muestran espectros tomados con la rejilla 3 en primer orden, con una resolución nominal de 500 y utilizando la rendija angosta. Un espectro de cielo tomado con este setup se muestra en la Fig. 4.7 donde se observan líneas de emisión del cielo a todo lo ancho del detector. La longitud de onda crece de abajo hacia arriba en la Fig. 4.7. Se observa una línea particularmente intensa en la parte baja del cuadro y se observa que el nivel del continuo aumenta hacia longitudes de onda mayores (arriba). También es posible percatarse de que las líneas son ligeramente curvadas hacia arriba, i.e. parábolas.

Comparando con líneas de modelos atmosféricos es posible lograr la identificación en longitud de onda que se muestra en la Fig. 4.8, i.e. calibrar en λ .

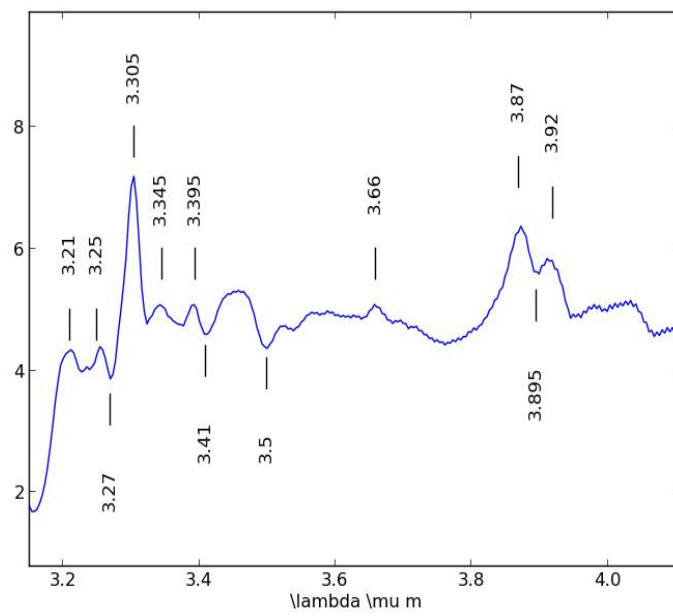


Figura 4.8: Calibración de líneas de emisión del cielo en la banda-L.

Capítulo 5

DESCRIPCIÓN DE PROGRAMAS DE OBSERVACIÓN

5.1 Filosofía de programación

Los programas de observación están repartidos en varias computadoras. En un primer nivel se encuentran los DSPs asociados a cada detector, que se encargan de generar las relojerías necesarias para adquirir las imágenes individuales. En el caso del BIB, además se encargan de cosumar imágenes en tiempo real. En el segundo nivel una PC llamada **elcid** se encarga de recibir las imágenes del detector, sincronizando las exposiciones con el movimiento del secundario y el telescopio y cosumar imágenes. En el tercer nivel está el programa de observación que ahora puede ejecutarse directamente en la PC **elcid** ó en otra estación de trabajo como **sonaja** y que recibe las imágenes finalmente pre-procesadas. El primer nivel fué programado por Bob Leach y el segundo y tercer nivel por Leonel Gutiérrez en 2001 y posteriormente actualizado en 2016 - 2017.

5.2 Inicialización del programa de intefaz de usuario

En el cuarto de observación:

- Haga un “login” en la computadora “**elcid**” como “observa”.
- Encienda la caja de motores de pasos (caja negra en la parte Sur de la mountura del CID en telescopio) y la electrónica de los DSP’s asociados a cada detector.
- En la caja de fibras ópticas cercana a la computadora **elcid** oprima el botón de reset. Deben estar encendidos los leds rojo y verde.
- Inicie el programa del CID localizado en el desktop. Se abrirá una ventanita con dos botones: uno que dice “BIB” y otro que dice “InSb”. Seleccione el botón deseado. Alternativamente, abra una terminal y teclee en ella “cid”.

- Si todo está correcto, aparecerá un conjunto de 4 ventanas gráficas, cuyo uso se describe en una sección posterior.

5.3 En caso de problemas al iniciar el programa

Si al intentar iniciar la sesión no aparecen las ventanas gráficas y en su lugar aparece la leyenda “No llegó la info”, oprima de nuevo el botón de reset de la caja de fibras ópticas y reintente el mando “cid”.

Si no tuvo éxito, verifique que todas las conexiones estén bien hechas y revise que haya comunicación tanto con la caja de control de los motores como con el controlador del detector. Para esto abra una “terminal” y teclee “pos filtib” ó “pos filtinsb” como se menciona en sección 6.12. Deberá responder con la posición de la rueda de filtros del BIB o InSb respectivamente.

Si la respuesta es ‘NADA’, reintente. Si ocurre lo mismo, la comunicación con la caja de control de los motores no se está dando correctamente.

Para verificar la comunicación con el controlador del detector, teclee en esta misma ventana el mando **pruebaserie**. La respuesta debe ser “DON”. Si la respuesta fue “NADA”, oprima de nuevo el botón de reset de la caja de fibras ópticas y reintente. Cuando todo acaba de encenderse, es probable que tenga que reintentar hasta unas 5 veces. Cuando la respuesta sea correcta, reintente el mando “cid”.

Si ha tenido que abortar el programa por alguna razón, será necesario cargar todas las secuencias (por ejemplo offsets) que se hubieran ejecutado con anterioridad.

Normalmente los procesos que están ejecutándose en la computadora **elcid** (visto con ps -aux) son:

- ‘cid’
- ‘faucet 4952 –in cat -’
- ‘faucet 4953 –in /home/cid/cid’

5.4 Observación desde sonaja

Para observar utilizando la computadora sonaja en vez de elcid directamente: abrir una terminal y hacer un ssh -X observa@192.168.0.4 a la computadora de elcid. Una vez dentro, teclear “cid”. Esto debe abrir las ventanas de observación en sonaja: Ventana entrada Fig. 5.1; ventana BIB Fig. 5.2 o ventanas InSb Fig. 5.3.

5.5 Terminando el programa

El programa **cid** se puede terminar con el botón de **salir**. Para apagar la computadora ‘elcid’ utilizar el menú principal de kubuntu, opción Leave, Shutdown.

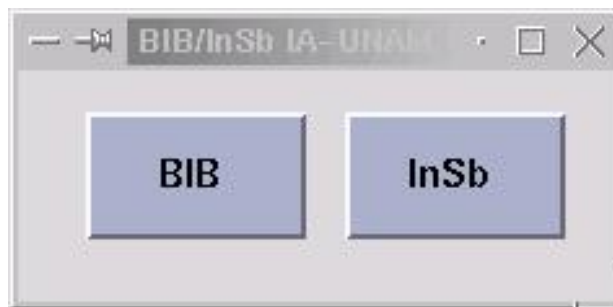


Figura 5.1: Ventana principal de observación CID. Permite seleccionar instrumento y detector.

5.6 Uso del programa de observación

El programa de observación es sencillo de usar. Tiene una interfaz de tipo botones para el usuario, como lo muestra la Fig. 5.2. En ella se pueden fijar tiempos de integración para el detector; realizar cosumas internas (que se efectúan en tiempo real en los DSP asociados al detector); cosumas externas, que se efectúan en forma sucesiva en la computadora PC-CID; cambiar el nombre base del archivo donde se guardarán los datos en forma secuencial; cambiar de filtro, rejilla, etc.

El botón de configuración define en mucho el comportamiento de los botones de exposición. Normalmente el submenú de configuración despierta abierto y se muestra en la Fig. 5.4.

Ahí se puede definir si las exposiciones serán llevadas a cabo sin oscilaciones, oscilando el secundario u oscilando el telescopio. Cualquiera de las opciones que se elija modificará el efecto del botón **Expone**.

Así en el nodo **No oscila**, al apretar el botón **Expone** se lleva a cabo una sola exposición y el resultado se muestra en la pantalla gráfica. En ese momento se puede definir la imagen obtenida como fondo al oprimir el botón **Define fondo** y al tomar una imagen subsecuente con **Expone**, ésta se restará del fondo definido previamente para mostrar la diferencia. Esta operación es necesaria para poder ver estrellas brillantes (magnitudes negativas) en tiempo “real” durante el proceso de enfoque a ojo. El fondo se puede borrar en cualquier momento con el botón **Borra fondo** y redefinirse un nuevo fondo si así se desea.

Si se quiere guardar en un archivo el resultado de una observación simple como esta, es necesario presionar el botón **Salva**, lo que generará un archivo con el nombre base y el número secuencial que siga la secuencia.

En el modo de **Oscila secundario**, la frecuencia de oscilación se controla mediante el tiempo de integración y número de coadds internos (ver sección tiempo de integración). Debe estar elegido este modo en el menú de configuración y al darse los valores de **T. integra** y **Cosumas int**, la frecuencia de oscilación en el submenú de configuración se calculará automáticamente. Esta frecuencia no debe exceder los 4 Hz.

En cuanto se han fijado los tiempos, frecuencia y número de oscilaciones, al presionar el botón de **Expone** se lanza la exposición, mostrando en la pantalla el resultado de la diferencia del haz positivo menos el haz negativo y al terminar el número de oscilaciones. El programa genera automáticamente dos archivos, con el nombre base y números consecutivos, siendo el primero el correspondiente al haz positivo (posición norte del cielo) y el segundo el negativo (posición sur).

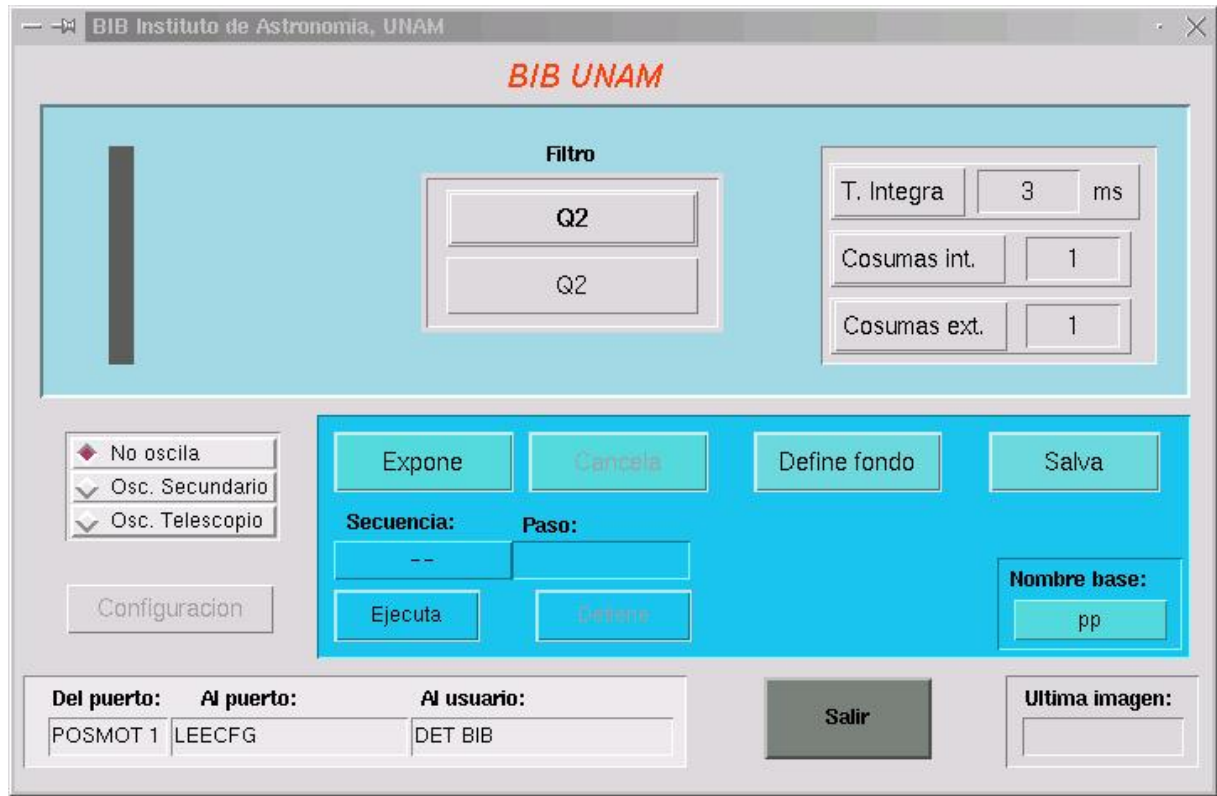


Figura 5.2: Ventana principal de observación CID-BIB.

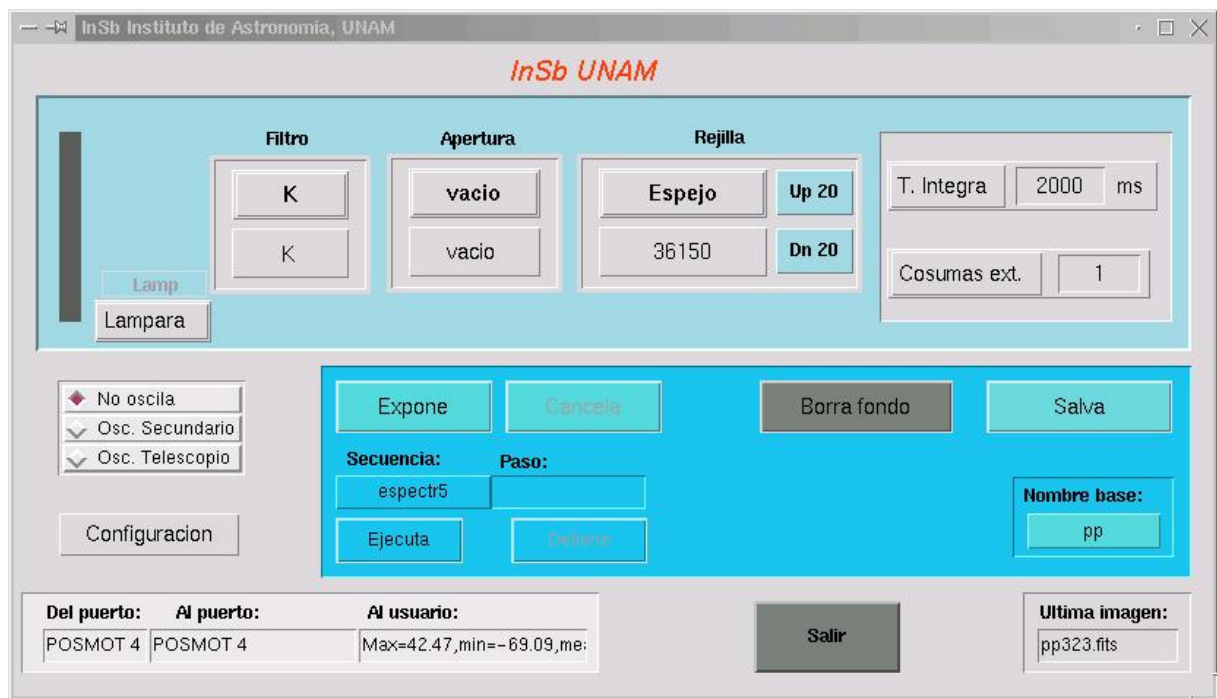


Figura 5.3: Ventana principal de observación CID-InSb.

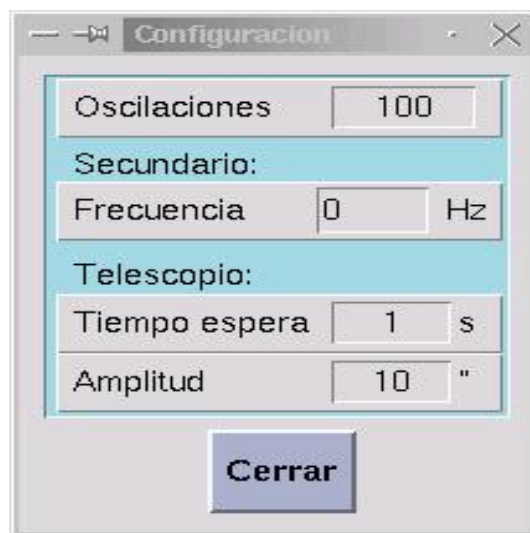


Figura 5.4: Submenú Configuración.

En el modo de **Osc. telescopio** sucede lo mismo que en el de secundario, pero las frecuencias son mucho más bajas.

Cualquier exposición simple como las descritas anteriormente, se puede detener con el botón de **Cancela**.

Al elegir otras opciones aparecen los submenús apropiados como por ejemplo los de las ruedas de filtros (Fig. 5.5) ó rejillas y rendijas (Fig. 5.6).

Para llevar a cabo secuencias de observaciones, por ejemplo integraciones en distintas posiciones del telescopio, es conveniente el uso de secuencias. Éstas se describen en detalle en la sección siguiente.

Para seleccionar una secuencia se debe presionar en el menú principal debajo de la palabra **Secuencia** y elegir en el submenú que aparece la secuencia deseada (ver Fig. 5.7). Para ejecutar la secuencia se debe presionar el botón de **Ejecuta** (no confundir con el de Expone). La secuencia se puede interrumpir con el botón de **Detiene**.

Aunque a veces debido a los procesos simultáneos que se realizan puede no dar el resultado deseado y será necesario esperar a que termine o reiniciar el programa.

5.7 Secuencias de comandos

Todas las secuencias (ver Fig. 5.7) deben escribirse en el archivo llamado 'secuencias'. Cabe notar que pueden incluirse todas las secuencias que se deseen; pero es importante:

- que no se dupliquen los nombres de las secuencias,
- que cada una esté terminada con la palabra 'fin' y
- que todos los ciclos estén terminados dentro de la secuencia con la palabra 'endloop'.

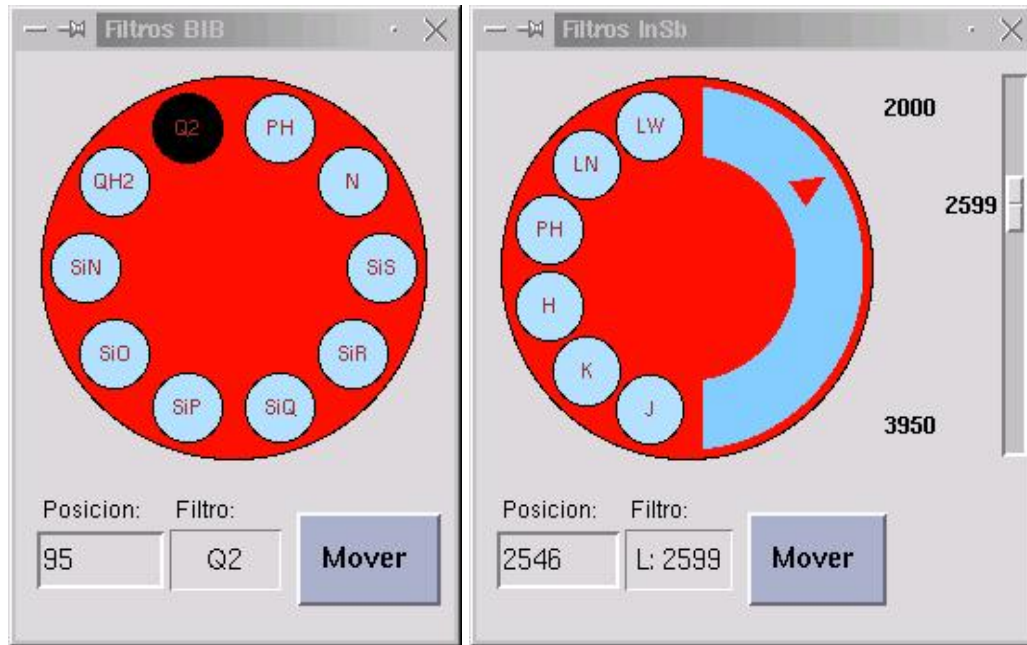


Figura 5.5: Izquierda: Ventana filtros CID-BIB. Derecha: Ventana filtros CID-InSb.

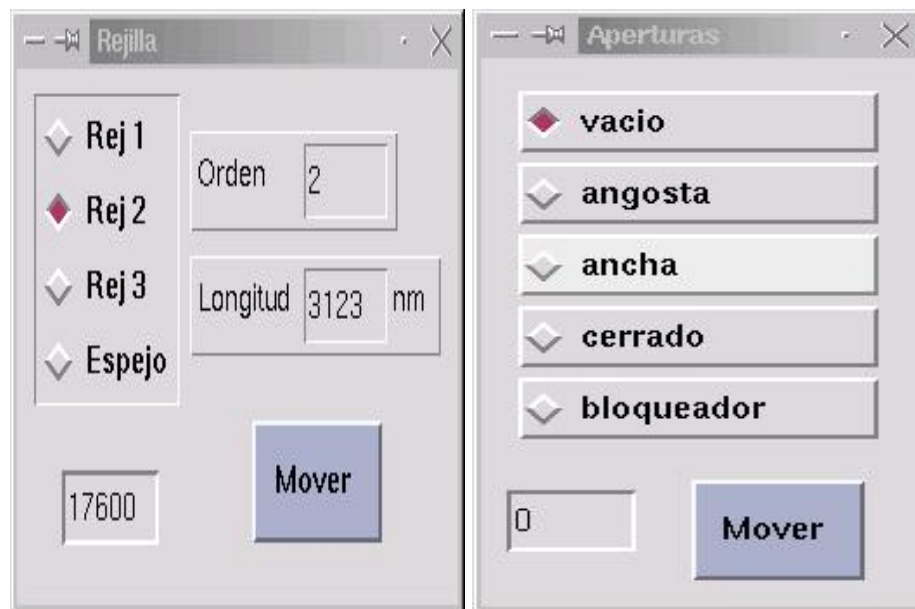


Figura 5.6: Izquierda: Ventana rejillas CID-InSb. Derecha: Ventana rendijas CID-InSb.

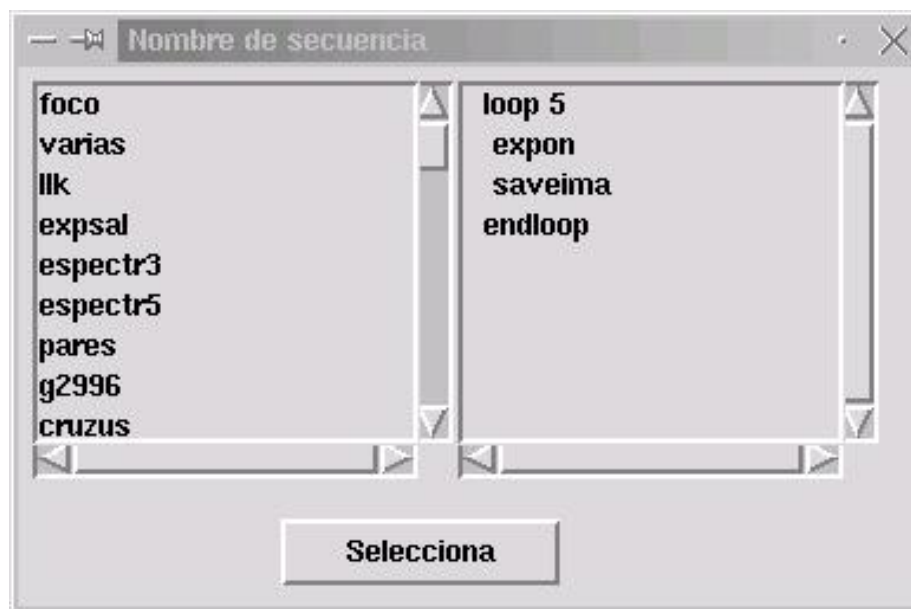


Figura 5.7: Submenú Configuración.

Los mandos que se pueden incluir en el archivo de secuencias son los siguientes:

expon	realiza una exposición
tint nn	nn = tiempo de integración en ms.
coadint nn	nn = número de frames a cosumar internamente.
coadext nn	nn = número de frames a cosumar externamente en la PC.
saveima	salva la imagen en un archivo fits.
mtel aa dd	aa = offset en AR en segundos de arco y dd = offset en DEC en segundos de arco.
oscl	hace oscilar el secundario.
move mm nn i	mm = número de motor a mover (ver abajo) nn = posición a la que se debe ir el motor. i (opcional); i=1 debe buscar el origen antes de ir a su posición deseada i=0 o está ausente no buscará el origen
posmot mm	mm = número de motor espera la posición del motor respectivo es necesario dar un 'posmot' después de un 'move' a fin de asegurar que llegó a la posición deseada.
delay nn	solicita un retardo de nn segundos; recomendable después de un 'mtel'.
lampon	enciende la lámpara de comparación.
lampof	apaga la lámpara de comparación.

Los motores a los que se refieren los comandos corresponden a:

Motor 1	Rueda de filtros BIB
Motor 2	Rueda de rejillas InSb
Motor 3	Rueda de aperturas InSb
Motor 4	Rueda de filtros InSb
Motor 5	Rueda de lámparas InSb, posición 0 fuera, 458 lámpara de argón.

Toda secuencia deberá iniciarse con su nombre y terminarse con la instrucción fin. Por ejemplo, realiza una exposición sencilla y salva la imagen sería:

```
nombre expsal
expon
saveima
fin
```

Es posible generar ciclos dentro de una secuencia de manera fácil usando la instrucción 'loop' seguida del número de veces que se debe repetir. Un ciclo debe terminarse con la instrucción 'endloop'. He aquí un ejemplo que realiza 60 exposiciones.

```
nombre foco
loop 60
expon
endloop
fin
```

Esta será la secuencia 'foco' y realizará 60 exposiciones. No es posible generar ciclos anidados. Pueden usarse variables dentro de una secuencia, para lo cual deberán declararse dentro de la secuencia correspondiente con la instrucción 'variable', seguida del nombre y su valor inicial. Todas las variables declaradas pueden incrementarse o decrementarse en valores enteros. Por ejemplo:

```
variable tiempo 10
```

Para mejor ilustración, se escribe a continuación una secuencia que realiza 60 ciclos, cambiando en 10 milisegundos el tiempo de integración en cada uno:

```
nombre lineal
variable tiempo 10
loop 60
tint tiempo
expon
saveima
incr tiempo 10
endloop
fin
```

Otros ejemplos de secuencias son:

- Realiza exposición sencilla, salva, mueve telescopio 10^al este, espera 8 segundos, expone y salva, regresa telescopio.

```
nombre cielo
expon
```

```

saveima
mtel 10 0
delay 8
expon
saveima
mtel -10 0
fin

```

- Realiza exposiciones en dos posiciones, pero oscilando el secundario.

```

nombre pares
oscl
mtel 15 0
delay 5
oscl
mtel -15 0
fin

```

- Realiza exposiciones en todas las posiciones del CVF.

```

nombre barrecvf
move 4 1500
posmot 4
expon
saveima
move 4 1600
posmot 4
expon
saveima
.
.
.
move 4 4900
posmot 4
expon
saveima
fin

```

- Realiza exposiciones en todas las posiciones de la rejilla número 2.

```

nombre rejilla2
move 2 15000
posmot 2
move 2 16000
posmot 2
expon
saveima
move 2 16100
posmot 2
expon
saveima
.

```



```
.
.
move 2 17400
posmot 2
expon
saveima
fin
```

- Realiza exposiciones oscilando el secundario y moviendo el telescopio en una cruz en el cielo.

```
nombre cruzos
oscl
mtel 0 20
delay 5
oscl
mtel 0 -40
delay 5
oscl
mtel 20 20
delay 5
oscl
mtel -40 0
delay 5
oscl
mtel 20 0
fin
```

5.8 Imágenes FITS generadas

Las imágenes que se generan con las observaciones del CID son imágenes de tipo FITS, reales de doble precisión. Las unidades son conteos / cuadro, es decir, el número de cuentas (ADU) que se tuvieron en promedio en cada cuadro de tiempo de integración T_{int} . Así, para obtener el número de conteos/segundo, bastará dividir la imagen por el tiempo de integración de un solo cuadro (el valor de TINT del header o el valor de T_{int} de la ventana de observación). Las imágenes pueden ser analizadas y reducidas directamente con IRAF. Los encabezados de las imágenes incluyen la información presentada en la Tabla 5.1.

Donde AR y DEC son las posiciones instrumentales (no las celestes) y TS y TU son los tiempos al final de la observación según el reloj de la computadora host (sonaja).

En el caso del detector **InSb** se generan dos imágenes. El detector InSb se lee en forma no destructiva dos veces, una al principio de la integración y otra después de transcurrido el tiempo de integración. La diferencia de ambas lecturas constituye el número de conteos netos de señal durante el tiempo de integración, y esta información se guarda normalmente en el archivo *nombreXXX.fits*. Sin embargo, los conteos correspondientes a la primera lectura (Bias + corriente oscura) pueden ser necesarios para la calibración por no linealidad, por lo que se guardan en el archivo *B_nombreXXX.fits*.

Tabla 5.1: Encabezado FITS de imagen.

COMMENT	FITS file created with a program written by L. Gutiérrez
COMMENT	Observatorio Astronómico Nacional en San Pedro Mártir, B.C., México
COMMENT	Caméra infrarroja CID
COMMENT	Detector BIB 128x128
COMMENT	Telescopio 2-m F/30
EXPOSURE=	45000 / Tiempo total integración en fuente, mseg
TINT =	00030 / Tiempo de integración elemental, mseg
NCINT =	00005 / Número de coadds internos
NCEXT =	00001 / Número de coadds externos
OSCL =	00300 / Número de oscilaciones del secundario
FSEC =	2.86 / Frecuencia de oscilación del secundario, hz
FILT =	' SiO' / Filtro
REJILLA =	' -' / Rejilla InSb
APERTURA=	' -' / Apertura InSb
SECUENC =	' cruzus' / Nombre de la secuencia
PASO =	' -' / Paso en la secuencia
AR =	' 03:07:26.1' / Ascensión Recta
DEC =	' +58:30:23' / Declinación
TS =	' 02:35:47' / Hora sidereal
TU =	' 10:56:49' / Hora universal
DJ =	' 2451798.0' / Día Juliano
AIRMASS =	1.13 / Masa de aire

5.9 Localización de imágenes y secuencias

Las imágenes (con el nombre escogido en ventana Fig 5.9) quedan en la computadora 'elcid' en el directorio **/home/observa/cid**. Las secuencias de observación se encuentran en el archivo **/home/observa/secuencias.cid**.

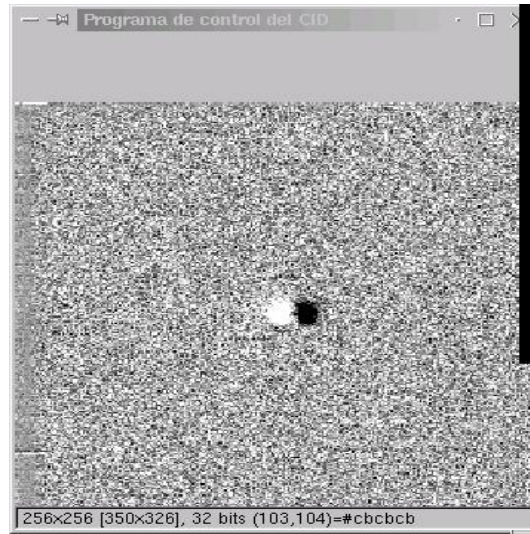


Figura 5.8: Ventana de la imagen que será guardada en formato FITS.

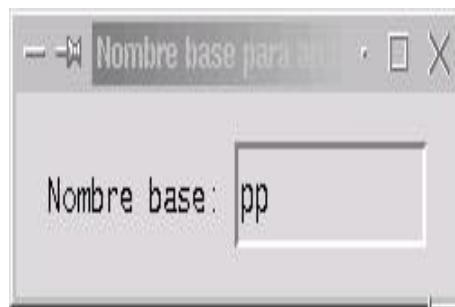


Figura 5.9: Ventana nombre de la imagen que será guardada en formato FITS.

Capítulo 6

OBSERVACIONES CON EL CID

6.1 Bitácora de Observación

Se tiene un archivo **logcid.ps** en el directorio observa en sonaja, el cual puede imprimirse con 'lpr logcid.ps' cuantas veces sea necesario. Contiene las columnas necesarias para una bitácora de observación con el CID.

6.2 Encontrar estrella de guía y campo

La primera estrella que se observa durante la temporada debe ser MUY brillante ya que debe poder verse sin mucho procesamiento de imágenes. En el caso de la cámara BIB, la lista se reduce a unas cuantas (tomadas de Tokunaga, IRTF Photometry Manual, 1986):

Nombre	AR (2000)	DEC (2000)	N (mag)
α Boo	14 15 39.67	+19 10 57	-3.17
μ Cep	21 43 30.46	+58 46 48	-3.84
β Peg	23 03 46.46	+28 04 58	-2.54
β And	01 09 43.92	+35 37 14	-2.04
α Tau	04 35 55.23	+16 30 33	-3.03
α Ori	05 55 10.305	+07 24 25	-5.13
α Cma	06 45 08.91	-16 42 58	-1.42
β Gem	07 45 18.95	+28 01 34	-1.24
μ Uma	10 22 19.7	+41 29 58	-1.03

El guiador debe estar alineado con el instrumento. Verificar con estrella brillante que centro de detector sea igual al centro de guiador. Como el campo del detector y de la cámara del guiador son muy pequeños, usar el guiador como mapa de identificación. Hay que poner las coordenadas del objeto en ventana GSC-GTK. Deben ser de catálogo, no de consola. Con botón derecho del mouse ver alguna estrella, notar en la parte inferior su número de identificación. Luego ir a la parte superior del mapa, hay un menú deslizable que tiene todas las coordenadas

relativas. Elegir la estrella que se identificó y luego oprimir mandar a guiador. No mandar directamente porque hay un error de centrado que uno hace al no poder centrar exactamente la posición con el mouse. Repetir esa operación para varias estrellas para estar seguro que estamos en la región del cielo.

6.3 Guiador Excéntrico

Todas las observaciones con el CID permiten usar el guiador excéntrico, lo que es especialmente útil para integraciones largas. El uso del sistema de autoguiado está fuertemente restringido, ya que todos los procedimientos de observación requieren de exposiciones en varias posiciones diferentes alrededor del centro del campo deseado, lo que implica pequeños movimientos frecuentes del telescopio comandados por los programas de observación corriendo en “sonaja”. El autoguiado debe permanecer deshabilitado para evitar conflictos. Así, el guiado sobre una estrella fuera de centro debe hacerse manual para cada posición del telescopio en que se integre.

Es importante notar que el espejo secundario que se usa con el CID es $f/30$, que tiene una escala aproximadamente CUATRO veces menor que el $f/7.5$, lo que implica un campo útil precisamente cuatro veces (en escala lineal) menor, haciendo más difícil encontrar estrellas en ese campo. Asimismo, se debe recordar que el espejo itinerante debe estar totalmente fuera del campo de visión (central) del detector cuando se realicen integraciones, pues de otra manera, la radiación térmica del espejo (a temperatura ambiente) afectaría fuertemente las mediciones.

6.3.1 Iniciación de guiador y parámetros para autoguiado

Al inicio de la temporada o en caso que hubiera que reiniciar el guiador (porque se hubiera perdido), será necesario ir a una estrella brillante para verificar que centro de detector sea igual a centro de guiador.

Seguir estas instrucciones:

- Al inicio seleccionar secundario $f/30$.
- Luego en la ventana de Guiador 2M (Motores) → Acciones → Centro de instrumentos seleccionar InSb.
- O alternativamente seleccionar Guiador 2M (Motores) → Acciones → inicializa
- Eso tomará tiempo ya que checa los centros de cada eje. Centrar estrella en el detector moviendo telescopio y checar que coincida con centro de guiador.
- Si no coincide mover espejo de guiador hasta que se centre la estrella. Ahí definir centro guiador: Guiador 2M (Motores) → Acciones → Configura → Define cero AR/DEC luego seleccionar campo → guiado
- Introducir los siguientes parámetros para autoguiado:
 - En Camara Guiador → Opciones → Configura Binning 4 (default)
 - Caja 200 → 150 (cambiar a 150)
 - zona muerta 4 → 8 (cambiar a 8)

6.3.2 Autoguiado

Es posible utilizar la función de autoguiado durante la observación con secuencias. Esto se lleva a cabo de manera automática ya que el programa moverá el espejo de guiador en la dirección contraria que el telescopio cuando realiza movimientos, de tal manera que la estrella no se sale de la caja de autoguiado. Esta misma propiedad se utiliza para centrar una estrella en la rendija del espectrógrafo con gran precisión (ver sección 6.9). Si se observa que el guiador deja de autoguiar debido a la baja de flujo en los cambios de posición, es recomendable usar el script `deshab` (ver sección 6.12).

6.3.3 Tamaño del campo del guiador

Aproximadamente 10 minutos hacia el sur y oeste, ver manual del guiador para secundario f/30:

http://www.astrossp.unam.mx/Instruments/g2m/doc/manuales/manual0606/manual_jun06.htm

La orientación en el monitor del guiador es NORTE arriba y ESTE a la derecha. Parámetros en el guiador para secundario f/30 :

Campo	DEC -992" a 356"; AR -580" a 373"; Escala: 3.26"/mm
Escala placa (modo guiado)	0.049"/pix (modo guiado)
	0.096"/pix (modo gran campo)
Orientación	NORTE arriba y ESTE derecha
Campo Modo guiado	38"x25"
Campo Modo gran campo	74"x49"

La zona prohibida es de 275" del centro para el BIB y 220" para el InSb.

6.3.4 Parámetros en el guiador para el CID-BIB.

Elegir	secundario f/30
Centro del instrumento (coord guiador)	-10 -10
Foco de telescopio	113
Foco guiador	-86
Zoom	– recomendado para campo posible grande.
Paso AR y DEC	5

Las estrellas para guiado deben estar a más de 275" del centro para evitar viñeteo (zona muerta).

6.3.5 Parámetros en el guiador para el CID-InSb.

Elegir secundario	f/30
Centro	-27 -15
Foco de telescopio	132
Foco guiador	20
Zoom	—
Paso AR y DEC	5
Zona muerta	220"

6.4 Secundario oscilante

Para la obtención de imágenes en el infrarrojo térmico ($\lambda > 3.0 \mu\text{m}$) donde las señales de los objetos astronómicos son muchísimo menores (hasta en órdenes de magnitud) que la radiación térmica de fondo proveniente del cielo, telescopio, espejos, asistente, etc.), se requiere la utilización del espejo oscilante para reducir significativamente el ruido de fondo (ver detalles en la sección 3.3).

El procedimiento consiste en oscilar el espejo secundario entre dos posiciones muy cercanas a una frecuencia menor de 1 Hz para enviar al detector los haces correspondientes a dos regiones del cielo vecinas. El detector registra (integra) las imágenes de ambos planos en sincronía con la posición fija del secundario en cada una de las dos posiciones, que llamamos positiva (+) y negativa (-). La imagen en haz positivo corresponde al Norte en el cielo y la de haz negativo al Sur. En el Capítulo 7 se describe el método para manipular las imágenes positivas y negativas de cada observación con el fin de cancelar de la mejor manera posible los efectos de emisión, transmitancia y sensibilidad del sistema cielo+telescopio+instrumento.

La experiencia ha indicado que la frecuencia óptima de oscilación es de 3 Hz. Por limitaciones físicas, el tiro (“throw”) del secundario no puede rebasar 250 segundos de arco. En la práctica, mientras menor es el tiro más eficiente será la observación (menos distorsión en la imagen y menor “tiempo muerto”) y el tamaño óptimo de éste depende del tamaño del objeto.

Para objetos puntuales se recomienda un tiro de 10 a 20 segundos de arco. Para objetos extendidos, el tiro idealmente deberá ser mayor que el tamaño del objeto y ambas imágenes (positiva y negativa) cayendo en el campo del detector. De esta manera se aprovecharía todo el tiempo de integración para la medición del objeto y del cielo. Cuando el tiro es mayor que el campo del detector, se debe diseñar una secuencia de observación tal que se cubra el área requerida del cielo en ambos haces, positivo y negativo.

El sistema del secundario oscilante del telescopio de 2.1m funciona solamente en la dirección norte-sur, pero con amplitud y nivel base (“offset”) variables. La electrónica de control permite al observador seleccionar la amplitud del tiro y el nivel base deberá estar lo más cerca posible de 0 volts. A través de un osciloscopio se puede controlar permanentemente la posición del espejo secundario, lo que permite realizar los ajustes de manera sencilla. También puede variarse externamente el nivel de “amortiguamiento”, variable que permite reducir o aumentar electrónicamente el efecto inercial del espejo (“overshooting”) y así obtener una forma de oscilación lo más cuadrada posible.

La Fig. 6.1 muestra y explica el panel de control del movimiento del secundario. y la Tabla 6.1 (y Fig. 6.2) muestra la calibración de la lectura de posición de la perilla de amplitud, con el valor del voltaje diferencial (positivo menos negativo) medido en el osciloscopio y con

el valor del tiro en segundos de arco. Dado que la ocurrencia y frecuencia de oscilación está determinada por la computadora y el programa de observación, (interruptor OSCILADOR debe estar en EXTERNO) la perilla de FRECUENCIA no debe moverse.

Tabla 6.1: Amplitudes de tiro del secundario oscilante

Perilla de amplitud	voltaje diferencial	tiro en seg arco (± 2)
3	0.04	6
5	0.09	10
7	0.15	18
9	0.22	27
13	0.37	36
17	0.48	50
20	0.64	60
21	0.67	65
29	0.80	91
38	1.04	119

6.5 Procedimiento para enfoque del telescopio

Para enfocar una imagen en el detector, se recomienda usar la secuencia “foco” del programa de observación, para desplegar de manera frecuente una imagen de una estrella brillante (e.g. estrella estándar) y minimizar, “a ojo” su tamaño. La posición del foco óptimo se puede determinar midiendo (con “imexam” de IRAF) el tamaño (FWHM) de la estrella en imágenes individuales (obtenidos y guardados con el comando “expone” y “guarda” del programa de observación). La experiencia nos dice que con el BIB la posición de foco óptimo es similar para los filtros angostos y diferente para el filtro N ancho. Con el InSb, el CVF tiene una posición de foco diferente a los filtros anchos JHKL. El procedimiento para enfocar el espectrógrafo del InSb se realiza de similar manera pero midiendo el ancho de las líneas de una lámpara de comparación.

6.6 Parámetros de foco y guiador

En la Tabla 6.2 se presentan parámetros del guiador y el foco para el BIB e InSb.

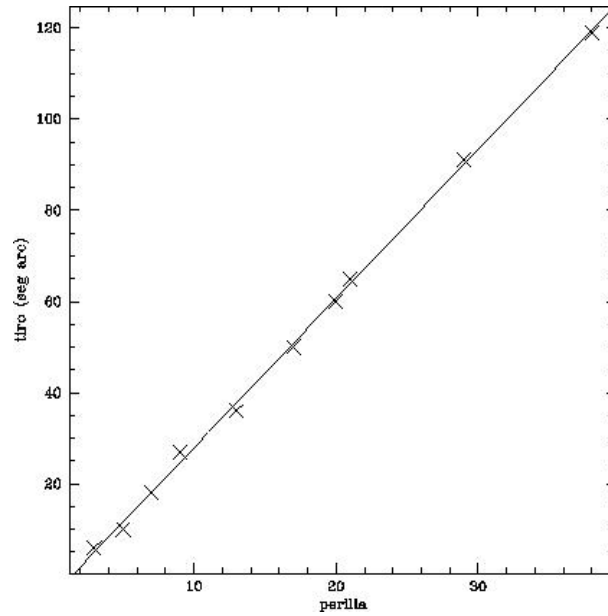


Figura 6.1: Tiro del secundario oscilante.

6.7 Selección del tiempo de integración

6.7.1 CID-BIB

Primeramente, el tiempo elemental de integración (t_{int}) se elige de tal manera que en una sola integración no se sature el detector, ni se tengan muy pocas cuentas. El intervalo recomendable es 30000 ± 10000 conteos (ADU) (ver Fig. 3.1, saturación). En seguida se elige el número de cosumas internas, que son el número de integraciones que se hacen en tiempo real en una posición del secundario, de tal manera que la frecuencia de oscilación sea alrededor de 3 Hz. Finalmente el número de oscilaciones que realizará el secundario, define el tiempo total de integración.

$$t_{Total} = t_{int} \times CosumasInternas \times Oscilaciones \times 2$$

En caso de que no se desee oscilar el secundario, dado que el número de cosumas internas no puede exceder 256, se puede incrementar las cosumas utilizando las cosumas externas, que se realizan en la PC-CID. Así el tiempo total de integración sería de

$$t_{Total} = t_{int} \times CosumasInternas \times CosumasExternas$$

6.7.2 CID-InSb

El tiempo de integración se elige primeramente con el botón de **T.integra**. Este se debe ajustar de tal manera que el detector no sature. Posteriormente para incrementar el tiempo se debe fijar el número de cosumas externas que se realizan en la PC-CID.

Tabla 6.2: Parámetros importantes del CID en el 2.1m.

CID-BIB	
Foco del telescopio	Filtro N ≈ 118.2 , Filtros angostos: ≈ 114.6 @ 14°C (Recordar que el foco varía con la temperatura).
Foco del guiador	Al máximo (280 mm) y no llega, faltan 18 mm.
Zona permitida del guiador	Para $X \geq 13'$ se debe tener $Y \leq 6'$. Para $X \leq 13'$ Y sin restricciones
CID-InSb	
Foco del telescopio	Filtros K y L ≈ 133
Foco del guiador	20 mm
Zona permitida del guiador	Para $X \geq XX'$ se debe tener $Y \leq YY'$. Para $X \leq XX'$ Y sin restricciones

6.8 Obtención de campos planos

Dependiendo del tipo de reducción que se efectuará (ver siguiente sección), puede ser necesario obtener campos planos con alta iluminación y baja iluminación. En general los campos de baja iluminación pueden obtenerse por combinaciones de las mismas observaciones nocturnas. Los campos de alta iluminación resultan más complicados, sobre todo porque deben observarse en igualdad de tiempos de integración que los de baja iluminación. Así mismo hay que observar campos de alta iluminación en todas las posiciones del secundario (haces positivos y negativos, tiros, etc.) que se hayan utilizado durante la noche. Los mejores resultados se han obtenido cuando los campos de alta iluminación tienen un nivel de flujo del orden de un 10% mayor que el nivel durante la noche. En ocasiones este nivel se puede encontrar observando el cielo de día, otras veces de tarde, algunas más realizando observaciones a masas de aire altas, etc. En general el domo no da buena iluminación y su flujo suele ser mucho mayor, sin embargo puede llegar a ser la única opción.

Para flats en K tomar flats de alta iluminación al atardecer y flats de baja iluminación al anochecer. Para flats en L explorar las siguientes posibilidades: Usando CVF en $3.6 \mu\text{m}$ hacer flat de alta en domo con cúpula cerrada antes de abrir (cuando está más caliente). Abrir domo y cuando se haya enfriado un poco hacer los de baja. Otra posibilidad, buscar distintos flujos en distintas posiciones del CVF en la atmósfera.

Para flats en $10 \mu\text{m}$: Con filtro N sobre el cielo flats de alta iluminación a alta masa de aire, flats de baja iluminación cerca del cenit. Si se va a utilizar el secundario oscilante es necesario tomar los flats descritos con anterioridad con el telescopio oscilando con el mismo tiro que se empleará en la noche. Ver arriba para descripción de flats en haz positivo y negativo.

Para espectroscopía en L usar los mismos flats descritos. Si la estrella para cancelar líneas telúricas fué observada exactamente en las mismas posiciones que la estrella problema, la división que cancela telúricas también corrige variaciones de eficiencia cuántica e iluminación (flatea).

6.9 Centrar estrella en rendija

Para centrar estrella en rendija acercarse un poco a la posición deseada y comenzar el autoguiado antes de hacer el centrado fino. Ya que esté autoguiando, se moverá el espejo del guiador para que el autoguiado se encargue de mover el telescopio a la posición deseada. Con esto es posible moverse fracciones de segundo de arco ya que existe una retroalimentación óptica que le indica al telescopio cuanto se ha movido y lo fuerza a terminar. Los siguientes programas (en salas) pueden ayudar al centrado. Para ejecutarlos abra una terminal en elcid (o un ssh desde sonaja, ver 6.12), y teclee:

```
centrarendija01  manda a guiador los offsets para mover espejo y forzar al autoguiado
                  a centrar telescopio a partir de coordenadas
centrarendija02  a partir de teclazos n s e w ; es equivalente a consola de guiador
centratel        manda a telescopio offsets para moverse a posición de la rendija, a
                  partir de coordenadas de la estrella tomadas de la imagen desplegada
```

En L la mayoría de las veces la estrella no se ve ni siquiera en orden cero de la rejilla. Como la rendija está antes que la rueda de filtros, se puede centrar en cualquier filtro (como K).

6.10 Enfocar en L

En L se satura en imagen directa con el puro cielo por lo que enfocar es difícil. Hay varias posibilidades: (a) Hacer foco en orden cero de una rejilla (como rejilla 3). (b) Hacer foco en filtro LN que es más angosto que LW.

Si ya se ha centrado la estrella en rendija, hacer foco con un espectro evaluando el ancho del trazo del continuo.

6.11 Rendija curva y Offset guiador

¡Qué tan curva es la rendija?

Baja resolución en L: rejilla 3 en primer orden, con una resolución nominal de $500 Y = 2.04e - 4X^2 - 5.16e - 2X + 3.25$ con vértice en $X = 126$. Con programa genespectrin01.py se genera secuencia espectrin para esa curvatura. Las correcciones en Y son del orden de 0.5 pix.

6.12 Scripts de observación

A continuación presentamos **scripts** de apoyo para la observación con el CID, para usarlos es necesario:

1. abrir una terminal.
2. si no es la computadora del cid, conectarse a ella mediante ssh -X observa@192.168.0.4

3. ejecutar uno de los siguientes scripts:

- **pos** pregunta posición de rueda de 'rejillas', 'filtinsb', 'filtbib', 'aperturas'
- **deshab** deshabilita error por desviación estandard en guiador
- **mtel** mueve telescopio y guiador simultáneo, dar, ddec
- **revisa** revisa imágenes i1 a i2 del prefijo
- **centratel** mueve telescopio y quiador simultáneo con ayuda de display detector
- **comader** prueba de comander cid

Capítulo 7

REDUCCION DE DATOS

7.1 Aplanado para imágenes del BIB

A partir de los campos planos obtenidos como se describe en la sección 6.5 puede procederse al aplanado de las imágenes del BIB como se describe a continuación. En el caso del InSb si se observa con secundario oscilante el procedimiento es el mismo y si no los campos planos se observan y construyen como en CAMILA (Manual de usuario MU-06 IAUNAM).

Las siguientes ecuaciones describen como flatear las imágenes del CID con el detector BIB a partir de las imágenes:

$$Objeto = O_b = (((O + S)T_+ + \tau_+)\eta + I_d) G\Delta t + O_f$$

$$Cielo = S_k = ((ST_- + \tau_-)\eta + I_d) G\Delta t + O_f$$

$$Flat\ baja_+ = F_{B+} = ((\sigma_B T_+ + \tau_+)\eta + I_d) G\Delta t + O_f$$

$$Flat\ baja_- = F_{B-} = ((\sigma_B T_- + \tau_-)\eta + I_d) G\Delta t + O_f$$

$$Flat\ alta_+ = F_{A+} = ((\sigma_A T_+ + \tau_+)\eta + I_d) G\Delta t + O_f$$

$$Flat\ alta_- = F_{A-} = ((\sigma_A T_- + \tau_-)\eta + I_d) G\Delta t + O_f$$

Normalmente oscilando el secundario se obtienen cuadros del tipo:

$$O_b - S_k = [OT_+ + S(T_+ - T_-) + (\tau_+ - \tau_-)] \eta G\Delta t$$

$$F_{B+} - F_{B-} = [\sigma_B(T_+ - T_-) + (\tau_+ - \tau_-)] \eta G\Delta t$$

donde si $\sigma_B \sim S$ tenemos

$$O_b - S_k - (F_{B+} - F_{B-}) = O T_+ \eta G \Delta t$$

Al dividir por

$$F_{A+} - F_{B+} = (\sigma_A - \sigma_B) T_+ \eta G \Delta t$$

normalizado, obtenemos $O =$ objeto fleteado.

En estas ecuaciones se definen:

$O =$ objeto

$S =$ cielo

$T_+ =$ transmitancia en haz positivo

$\tau_+ =$ emisión térmica óptica en haz positivo

$T_- =$ transmitancia en haz negativo

$\tau_- =$ emisión térmica óptica en haz negativo

$\eta =$ eficiencia cuántica

$I_d =$ corriente oscura detector

$G =$ ganancia detector

$\Delta t =$ tiempo integración

$O_f =$ offset electrónico

$\sigma_B =$ cielo baja (cielo normal)

$\sigma_A =$ cielo alta (domo)

Capítulo 8

RECONOCIMIENTOS

8.1 Participantes

Este proyecto ha sido desarrollado por un grupo de académicos del Instituto de Astronomía de la UNAM. Su diseño inició en 1994 y fué concluido en 1999. Los créditos en el diseño, construcción, caracterización de este complejo instrumento son como sigue:

- Gestión: Rafael Costero.
- Diseño: R. Costero, L. Salas, I. Cruz-González, E. Ruiz, M. Tapia.
- Optica y Mecánica: Infrared Laboratories.
- Filtros: J. Bohigas, M. Tapia.
- Electrónica de Adquisición: B. Leach (UCSD) con aportaciones de L. Gutiérrez, L. Salas, E. Ruiz, F. Lazo, E. Sohn e IRLabs.
- Software de Adquisición: L. Gutiérrez, L. Salas, S. Zazueta.
- Mecánica de acoplamiento: J. Valdéz, B. García, E. Luna.
- Secundario f/27: F. Garfias, O. Chapa, I. Cruz-González, J. Valdez, E. Luna, V. García, F. Cobos, C. Tejada.
- Adaptación control secundario oscilante: J.M. Murillo, A. Iriarte
- Control de motores: F. Quiros, F. Lazo, L. Gutiérrez.
- Caracterización astronómica: L. Salas, M. Tapia, I. Cruz-González, E. Ruiz, E. Sohn, L. Gutiérrez.
- Manual: L. Salas, M. Tapia, I. Cruz-González, L. Gutiérrez, E. Luna, J. Bohigas.

Actualizaciones 2016-2017

Con el fin de actualizar el instrumento **El CID** se inició en 2016 un esfuerzo de modernización. Créditos del trabajo realizado de actualización:

- Electrónica secundario oscilante: Francisco Murillo, José M. Murillo.
- Mecánica compresor helio: Benjamín García, Benjamín Martínez.
- Reemplazo computadora, driver tarjeta fibras ópticas y readaptación software: Leonel Gutiérrez, Enrique Colorado.
- Control motores ruedas de filtros: Francisco Murillo.
- Talleres de usuarios: Luis Salas, Mauricio Tapia, Carlos Román, Mónica Blanco, Leonel Gutiérrez, Jesús Hernández.
- Revisión de la electrónica del CID-BIB: Luis Salas, Elfego Ruiz, Erika Sohn, Esteban Luna, Irene Cruz-González.

La actualización de este manual reúne modificaciones realizadas en: oct 2001, sep 2002, feb 2005, may 2014, dic 2016 y sep 2017.

8.2 Agradecimientos

Al Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir, B.C., por habernos dado las condiciones óptimas para desarrollar este instrumento. Al Instituto de Astronomía de la UNAM por haber creado el ambiente de trabajo y libertad académicos que un proyecto como este requiere. A Infrared Laboratories y en especial a Robert Kurtz, por un excelente diseño, compacto, funcional y único en su clase. A Robert Leach por habernos dado toda la información necesaria y su disposición a poner a punto el desarrollo de la electrónica. Al Equipo Técnico y al personal administrativo y de operación del OAN por su excelente trabajo y apoyo en todas las etapas de prueba y desarrollo del sistema CID. A los asistentes de telescopio: Gabriel García†, Felipe Montalvo, Salvador Monrroy, Gustavo Melgoza y Francisco Guillén, por su labor fundamental en las temporadas de observación. A todos aquellos que nos han impulsado a llegar a la etapa final. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Dirección General de Apoyo al Personal Académico (UNAM) y al IAUNAM por haber patrocinado este proyecto.

Lamentamos la ausencia de Gabriel García†, Francisco Cobos†, Francisco Lazo† y Víctor García†, quienes colaboraron en las primeras etapas del desarrollo y puesta en operación de **El CID**.

8.3 Financiamiento

La mayor parte del financiamiento para la construcción del presente instrumento provino del CONACYT, a través del proyecto de PACIME de infraestructura para el OAN (F325-E9211, R. Costero investigador responsable). Además, fué suplementado parcialmente en sus últimas etapas por los siguientes proyectos (en paréntesis el investigador responsable): CONACYT 1021PE (Tapia) y DGAPA IN501694 (Cruz-González), IN108696 (Tapia) e IN105400 (Tapia), así como por varias partidas del Instituto de Astronomía de la UNAM.

Bibliografía

- [1] Cohen, M., Walker, R. G., Carter, B., et al. 1999, AJ, 117, 1864
- [2] Infrared Laboratories. User Manual for UNAM BIB Camera & InSB Camera Spectrometer 1999.
- [3] Gezari, D. Y.; Backman, D. E.; Werner, M. W.: 1998, Ap.J. 509, 283.
- [4] Hoffman, W.F., Hora, J.L., Fazio, G.G., Deutsch, L.K., Dayal, A. : 1998, SPIE 3354, 647.
- [5] Quirós, F. & Salas, L.: “Manual de Usuario de pruebas básicas del CID”. Instituto de Astronomía, OAN-UNAM, Versión 1.0, Octubre de 2009.
- [6] OSCIR Manual, <http://www.gemini.edu/sciops/instruments/oscir/oscirIndex.html>
- [7] Roth, M., Iriarte, A., Tapia, M., Reséndiz, G.: 1984, Rev. Mex. Astron.Astrof. 9, 25.
- [8] Salas, L., Cruz-González, I., & Tapia, M. 2006, RMxAA, 42, 273
- [9] Salas, L., Gutiérrez, L., Tapia, M., Cruz-González, I., Ruiz, E., Luna, E., Valdez, J., Costero, R., Sohn, E., Lazo, F., Bohigas, J., García, B., Murillo, J. M., Garfias, F., Chapa, O., Zazueta, S., García, V., Cobos, F., Quirós, F., Iriarte, A., Tejada, C.: 1999-2005, Manual del Instrumento “CAMARA INFRARROJA DOBLE DEL OAN: CID”, <http://bufadora.astrosen.unam.mx/~salas/manual/>.
- [10] Sohn, E., Ruiz, E., Salas, L., Gutiérrez, L., Cruz-González, I., 2001, “Noise reduction in BIB-type detectors”, Proc. of SPIE, 4454, 135-141.
- [11] Tokunaga, A.: 1986, IRTF manual.