

Sistema de alineación de pupilas para CAMILA y pruebas en el telescopio de 1.5 m del OAN- SPM.

J. Valdés, J. Herrera, L. Salas, E. Luna, E. Sohn, L. Ortíz.

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

RESUMEN:

Presentamos un nuevo mecanismo para la alineación del instrumento CAMILA, con óptica de doblete, que permite desacoplar los movimientos de inclinación del de desplazamiento. Esto tiene la finalidad de acoplar las pupilas de salida del telescopio con la pupila fría de CAMILA.

La montura anterior tenía su centro de giro lejos de la superficie reflectora y producía, además de inclinación, un desplazamiento de la imagen de la pupila hacia el “cold stop” de entrada de CAMILA. Esto resultaba en una gran dificultad para llevar a cabo la alineación de ambas pupilas. La nueva montura permite llevar a cabo la alineación en forma expedita y certera, logrando una calidad de imagen constante en el campo de observación. Esta montura funciona para cada uno de los telescopios del OAN. En esta ocasión fue probada en el telescopio de

1.5-m en 2023. Presentamos los resultados de dichas pruebas con la caracterización del instrumento en este telescopio y su comparación con resultados anteriores utilizando la montura original, tanto en éste como en otros telescopios del OAN-SPM.

Los resultados garantizan el buen desempeño astronómico de CAMILA con su nueva montura en el telescopio de 1.5-m. Mostramos que es posible realizar observaciones en el infrarrojo cercano en las bandas *J*, *H* y *K* hasta magnitud límite de 16.6, 16.7 y 15.4, respectivamente (5σ en 1 minuto de integración), con calidad de imagen de 1.3 segundos de arco (FWHM) constante en un campo total de 2.8 minutos.

Así mismo, se presentan observaciones de emisión nebular extendida en filtros angostos de la banda *K*.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. NUEVA MONTURA DEL DOBLETE DE CAMILA	3
2.1. LOCALIZACIÓN DEL MECANISMO DE ALINEACIÓN EN CAMILA	3
2.2. DESCRIPCIÓN DE LA NUEVA MONTURA DE ALINEACIÓN	4
3. PROCEDIMIENTO DE ALINEACIÓN	5
4. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN DE CAMILA EN EL TELESCOPIO DE 1.5 M	6
5. CONCLUSIONES	10
6. REFERENCIAS	11
APÉNDICE A. ACTUALIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y POSICIONES DE FILTROS	12

1. INTRODUCCIÓN

El instrumento para observaciones en el cercano infrarrojo, CAMILA, en su modalidad de cámara directa, ha estado funcionando desde 2010 [1], con una óptica basada en un doblete ZnS/ZnSe que releva la imagen de la pupila del telescopio sobre la pupila fría (donde se sitúa el *stop de Lyot*) dentro del crióstato de CAMILA.

La montura inicial de ese doblete había sido diseñada en la Universidad de Massachusetts (Skrutskie y Carrasco 1992 en Cruz-González et al. 1994) y ensamblada en el OAN-SPM en 1993 (Salas y Carrasco) dentro de una estructura de soporte denominada “*bota*”. Esta montura hacía coincidir las pupilas mediante un espejo plano que tenía una montura *tip/tilt* de punto-rayo-plano con balín y resorte mediante un mecanismo que, con el tiempo, dejó de funcionar de manera confiable.

En el reporte actual mostramos los detalles del diseño de una nueva montura para el espejo plano, que dirige el haz que emerge del telescopio hacia el doblete y luego hacia el crióstato del detector, antes del cual se encuentra el “*Stop de Lyot*”, en donde se acoplan las pupilas y se bloquea la radiación térmica proveniente de las monturas de los espejos que forman el telescopio.

La principal desventaja del diseño anterior es que el centro de giro de la montura estaba lejos de la superficie del espejo plano, por lo que el mecanismo que se utilizaba para inclinar el espejo en dos ejes también provocaba desplazamientos. En el nuevo diseño se buscó que el centro de giro de la montura estuviese sobre la superficie del espejo plano de tal manera que este movimiento se desacoplara de los desplazamientos.

Los desplazamientos se pueden llevar a cabo con mecanismos independientes. De esta manera es posible alinear las pupilas con mayor facilidad y certeza. Este nuevo dispositivo se diseñó y construyó en los talleres del IAUNAM-E, se instaló en la “*bota*” y se probó en el telescopio de 1.5-m, $f/13.5$. En este reporte mostramos los resultados obtenidos con esta nueva montura y los comparamos con los obtenidos anteriormente [1].



Figura 1: Parte del equipo durante las pruebas de la nueva “*bota*” de CAMILA en el telescopio de 1.5m

2. NUEVA MONTURA DEL DOBLETE DE CAMILA

2.1. LOCALIZACIÓN DEL MECANISMO DE ALINEACIÓN EN CAMILA

La *Figura 2* muestra, en rojo, la estructura llamada “bota”, que permite fijar el crióstato al telescopio. En esta figura es posible observar el nuevo mecanismo de alineación para la lente tipo doblete.

El plano focal del telescopio incide en su parte superior, y es necesario el uso de un espaciador de 33 cm entre la platina del telescopio y la platina de la “bota” para enfocar correctamente el instrumento. Después del plano focal, el haz óptico se abre e incide sobre el espejo plano a un ángulo obtuso, que lo refleja hacia el crióstato de CAMILA, pasando por el doblete infrarrojo ZnS/ZnSe, como se ve en esa misma figura. También se aprecian los tornillos que se utilizan en la nueva montura para efectuar los movimientos de inclinación (*tip/tilt*) del espejo, así como una manivela que permite efectuar desplazamientos verticales de la pupila sin afectar la inclinación.

Los tornillos de ajuste de *tip/tilt* (ver *Figura 3* para mayor detalle) accionan una palanca que desliza la montura del espejo sobre una rótula esférica cuyo centro de curvatura se proyecta sobre la superficie del espejo. De esta manera se desacoplan efectivamente los movimientos de alineación angular de los desplazamientos laterales.

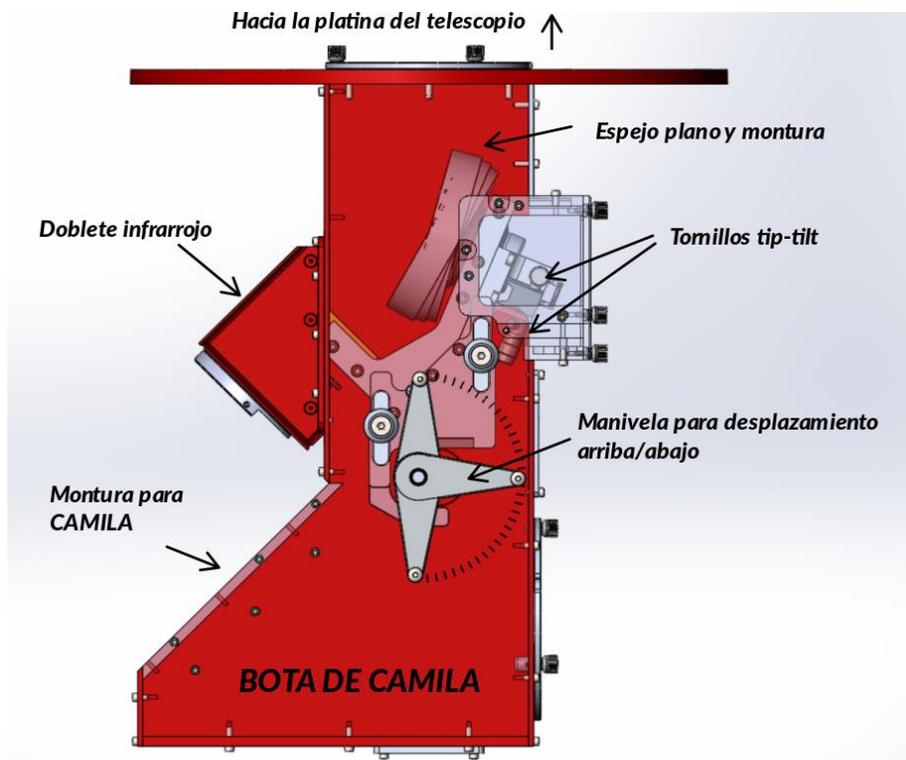


Figura 2: “Bota” de CAMILA con la nueva montura de alineación. Se muestran los mecanismos de desplazamiento vertical y de inclinación; las manivelas, candados y tornillos micrométricos para realizar la alineación.

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA NUEVA MONTURA DE ALINEACIÓN

Como se mencionó en la introducción, la innovación en esta propuesta nos da control sobre la posición a lo largo del eje óptico para dirigir con precisión el haz del telescopio al instrumento. Esta capacidad de ajustar la altura facilita una reflexión perpendicular exacta hacia el plano del detector. El mecanismo actualizado permite ajustar dos parámetros de manera independiente: la altura y el ángulo de giro. Esta independencia de ajustes simplifica notablemente la alineación del instrumento.

En contraste, en la mecánica anterior, el punto de pivote para la inclinación del haz estaba lejos de la superficie del espejo, lo que implicaba que un movimiento en la inclinación modificara simultáneamente la altura de reflexión del haz en el eje óptico.

Como se ve en la *Figura 3*, la incorporación de la rótula esférica que sostiene al espejo sitúa la superficie del espejo en el centro de curvatura de la esfera. Así, independientemente del ángulo de la rótula, el punto de incidencia del eje óptico en el espejo se mantiene constante.

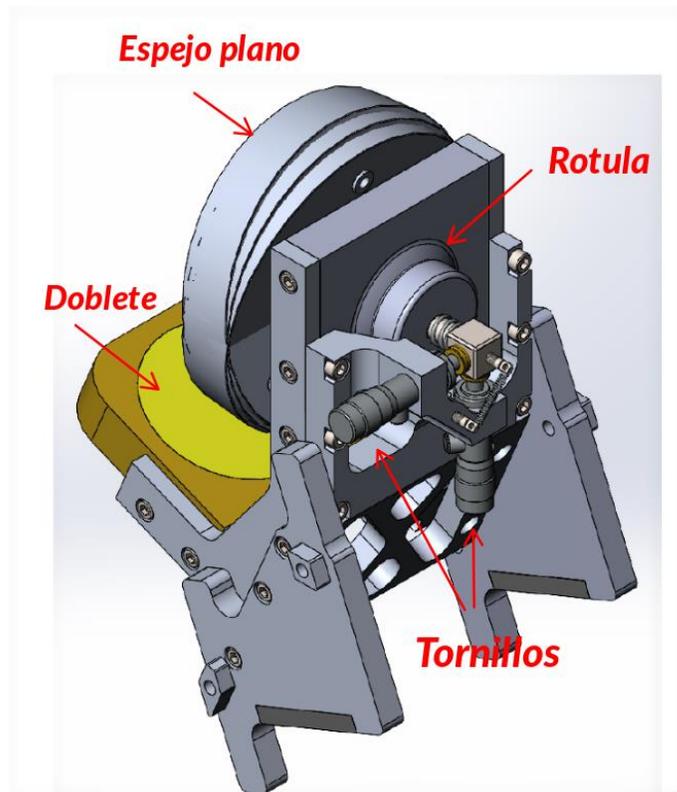


Figura 3: Vista posterior de la montura del espejo plano con su mecanismo de inclinación. Nótese la rótula que permite girar el espejo plano por medio de dos tornillos micrométricos con los que se ajusta el tip y tilt.

La montura se muestra con las posiciones extremas y central del espejo plano. Los pivotes guía del mecanismo de ajuste vertical se muestran en la cara lateral del ensamblaje. El doblete y su montura se muestran en color amarillo.

3. PROCEDIMIENTO DE ALINEACIÓN

La alineación con la nueva montura se probó en el telescopio de 1.5-m en la temporada de ingeniería del 6 al 7 de septiembre de 2023.

Para la instalación en el telescopio, se efectuó un vacío de 3.5×10^{-4} bar, que se alcanzó en 2 h. Con este vacío, el nitrógeno líquido dura hasta 8 horas antes de evaporarse.

NOTA IMPORTANTE: Se tuvo que reparar un prisionero de la rueda de filtros al interior del crióstato, por lo que **la nueva posición del filtro cero es la 0009. Todos los valores de la tabla de filtros [1] se deben alterar de acuerdo con esto, sumando 11 unidades a sus posiciones anteriores.**

En el Apéndice A de este documento se listan los valores correctos para la rueda de filtros. Esto es transparente para el observador al cambiar de filtros, pero **es importante que el técnico en turno asegure que el valor en el dial sea el correcto al inicio de las observaciones.**

Antes de comenzar a alinear, hay que asegurarse que los tornillos y manivelas de ajuste se encuentren a media carrera (*Figuras 2 y 3*).

Para realizar el procedimiento de alineación, se dirige el telescopio a una estrella brillante. Para localizar la luz de la estrella emergente del telescopio, se coloca un papel frente a la ventana de CAMILA, en un entorno oscuro, y se mueve el telescopio hasta que la imagen de la estrella se localice cerca del centro de la ventana. Una vez que se logra esto, el resto de la alineación se efectúa adquiriendo imágenes con el instrumento CAMILA.

Para realizar el ajuste de altura (arriba-abajo), se utiliza la manivela (*Figura 2*) que mueve todo el mecanismo en el eje vertical. Para que sea posible mover y luego fijar este mecanismo, hay que aflojar los tornillos de anclaje mostrados en la *Figura 2*. Una vez que la estrella esté en el eje vertical del detector, se aprietan los tornillos de anclaje y se procede a ajustar la posición en *tip/tilt* de la estrella en el detector. Esto se realiza por medio de los dos tornillos micrométricos que se localizan detrás de la montura del espejo plano (*Figura 3*).

La manera de saber que el mecanismo está bien alineado es evaluando la degradación de la imagen a lo largo del campo visual, ajustando la inclinación del espejo hasta obtener una calidad de imagen uniforme. Si se produce un viñeteo por la manipulación del ángulo, se corrige mediante el ajuste de la altura del espejo. Este proceso es iterativo y, generalmente, con un par de ajustes se logra una alineación adecuada.

El algoritmo utilizado para alinear la óptica de CAMILA con el telescopio está descrito en [1], pero a continuación se muestra un resumen:

1. Se posiciona el mecanismo de desplazamiento arriba/abajo a la mitad de su carrera
2. Se apunta el telescopio a una estrella brillante (magnitud cero) y viendo desde la parte posterior de la montura, se centra la estrella en el “*Stop de Lyot*” del crióstato, moviendo el telescopio
3. Se verifica que se observe la estrella en el campo de CAMILA
4. Se desenfoca la imagen para observar la alineación de las pupilas (filtro *K*)
5. La alineación se corrige rotando el espejo plano con los tornillos *tip/tilt*
6. Se reenfoca el telescopio y se mueve a una región con estrellas más débiles (8-10)
7. Se corrige la distorsión en el campo mediante desplazamientos del espejo
8. Una vez terminada la alineación, los tornillos de ajuste *tip/tilt* se protegen de movimientos involuntarios mediante una cápsula con tornillos propios de perilla para indicar que son partes desmontables

4. CARACTERIZACIÓN DE LA CALIDAD DE IMAGEN DE CAMILA EN EL TELESCOPIO DE 1.5 M

En esta sección se muestran los resultados de la caracterización de CAMILA, efectuada con su nueva montura, en el telescopio de 1.5 m del OAN-SPM.

La *Figura 4* muestra un cúmulo globular (M-56) observado en el filtro *K* para verificar el resultado del procedimiento de alineación.

La observación consiste en una exposición con el telescopio, apuntando al objeto (**Obj**, mostrado en blanco), menos otra observando en otra dirección (**cielo**, mostrado en negro), para así cancelar el fondo.

La calidad de la imagen se evaluó en varias estrellas del campo, obteniéndose un FWHM constante de 1.3 ± 0.1 arcsec.

La forma de la respuesta es simétrica, como puede observarse en los cuatro insertos de 10x10 arcsec con contornos de estrellas en posiciones extremas del campo. El campo es de 2.8 minutos, que corresponden a una escala de placa de 0.66 arcsec/pix y 2562 pixeles del detector NICMOS III de CAMILA.

Aunque el dispositivo probado puede emplearse en cualquier telescopio del OAN, decidimos probarlo y caracterizarlo en el telescopio de 1.5-m, ya que en pruebas anteriores [1] este telescopio mostraba ventajas sobre los otros dos del OAN, como una escala de placa mejor adaptada al *seeing* y al detector, así como una mejor calidad de imagen con el doblete ZnS/ZnSe.

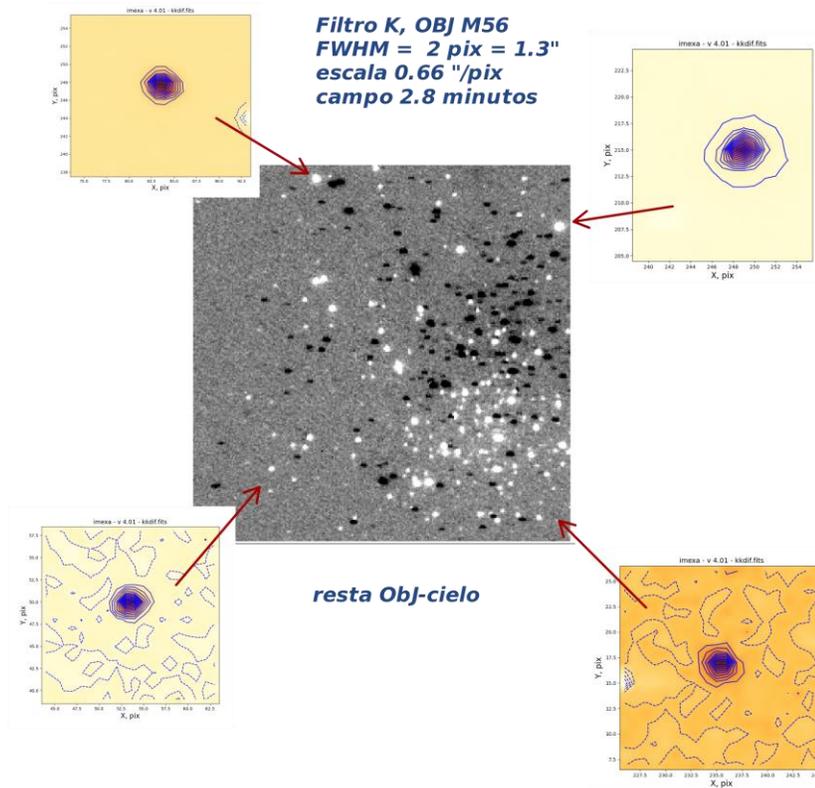


Figura 4: Calidad de imagen constante en el campo.

El *background*, aunque relativamente mayor que en el telescopio de 2.1 m, no impide llevar a cabo observaciones en el infrarrojo cercano, como se muestra a continuación, aún en el caso de objetos extendidos. Más aún, este telescopio está actualmente subutilizado, por lo que la rehabilitación de un instrumento interesante, como CAMILA, puede motivar proyectos científicos de los observadores del OAN.

En la *Figura 5* se muestra la observación del cúmulo globular M-56 en los filtros *J*, *H* y *K*. Esta figura se obtuvo a partir de cuadros individuales obtenidos con una secuencia de movimientos en “cuadro” del telescopio.

A partir de estas imágenes, se obtiene un cielo mediante una combinación por medianas, que posteriormente se resta de los cuadros originales. Estas diferencias se dividen entre los campos planos (*flats*), obtenidos a partir de observaciones del cielo con alta y baja iluminación al atardecer. Finalmente, los cuadros se recentran y combinan con un promedio y con esto se obtiene la imagen reducida.

Los alargamientos observados en la *Figura 5* corresponden a errores de guiado y/o centrado de los cuadros individuales, no son problemas de la alineación óptica.

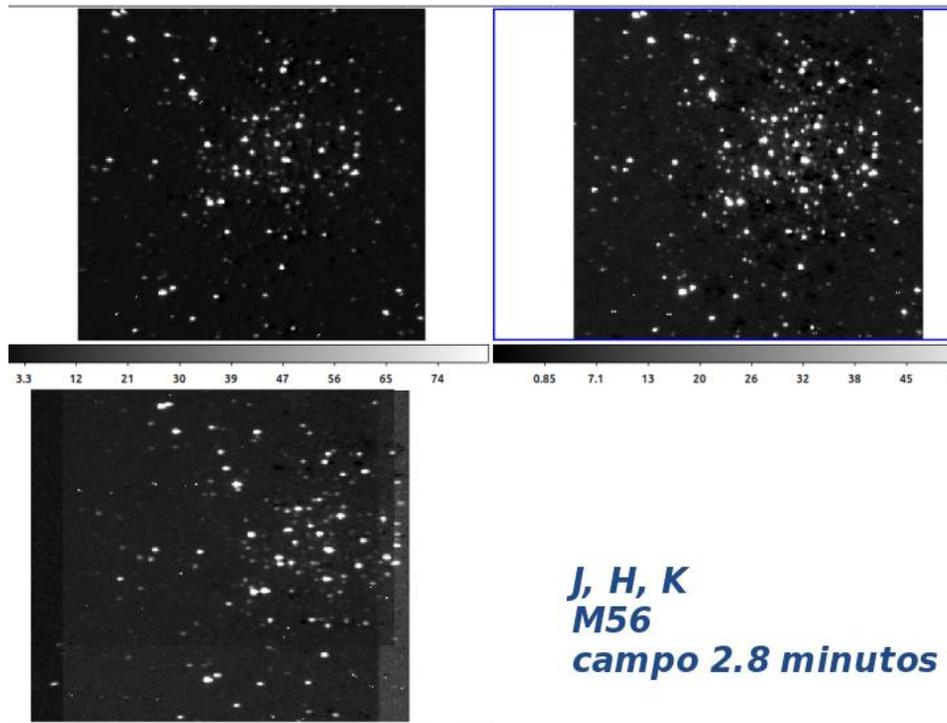


Figura 5: Observación en JHK utilizando secuencias de cuadro.

La calibración fotométrica del sistema que se muestra en la Tabla 1, se obtuvo observando la estrella estándar (UKIRT *Faint Standards* # 151 ó P340H, con $K=11.869$, $J-H=0.263$, $H-K=0.074$), utilizando una secuencia de “cuadro” para un tiempo total de 50 segundos y siguiendo el procedimiento descrito arriba.

Notas a la Tabla 1:

Foco: corresponde a la posición de enfoque del telescopio, en sus propias unidades.

FWHM: dado en pixeles. Son 10 a 20 % mayores que los reportados en la sección previa porque incluyen errores de guiado.

Fondo: *background* térmico: cielo + alrededores, en conteos/segundo. El valor de **fondo** para el filtro *K* es relativamente alto debido, en parte, a que la noche de observación había una temperatura cálida de 13C.

Flujo std: son los conteos/segundo obtenidos para la estrella estándar, integrados bajo un ajuste gaussiano al perfil radial de la estrella.

Magnitud instrumental: se calcula como $-2.5 \log(\text{flujo, cont/sec})$.

Punto cero: diferencia entre la magnitud instrumental y la magnitud del catálogo UKIRT *Faint Standards* correspondiente a cada filtro.

Magnitud límite: se calcula a partir del ajuste gaussiano, considerando que la amplitud mínima de la gaussiana podría aún sobresalir 5 veces del ruido RMS del *background* alrededor de la estrella, es decir, 5σ en un minuto de integración.

TABLA 1

Fotometría CAMILA, septiembre de 2023

Filtro	Foco (conteos)	FWHM (pix)	Fondo (cont/sec)	Flujo std (cont/sec)	Magnitud instrumental (mag)	Punto cero (mag)	Mag límite (mag)
<i>J</i>	9000	2.3	21	1091	-7.59	19.8	16.6
<i>H</i>	8950	2.6	98	945	-7.44	19.3	16.7
<i>K</i>	8900	2.3	949	934	-7.42	19.3	15.4

Finalmente, con el fin de mostrar las capacidades del sistema para observar objetos extendidos de bajo brillo superficial en filtros angostos en la banda *K* (1.9 - 2.4 μm), llevamos a cabo la observación de un *outflow* molecular de hidrógeno en H_2 (2.12 μm), de la región DR-21 (Cruz-González et al 2007), además de la emisión de gas ionizado por su recombinación en $\text{Br}\gamma$ (2.16 μm) en la región HII cercana a la fuente del *outflow*, y el correspondiente continuo en *K* (2.26 μm). La reducción de estos tres cuadros se muestra en la *Figura 6*.

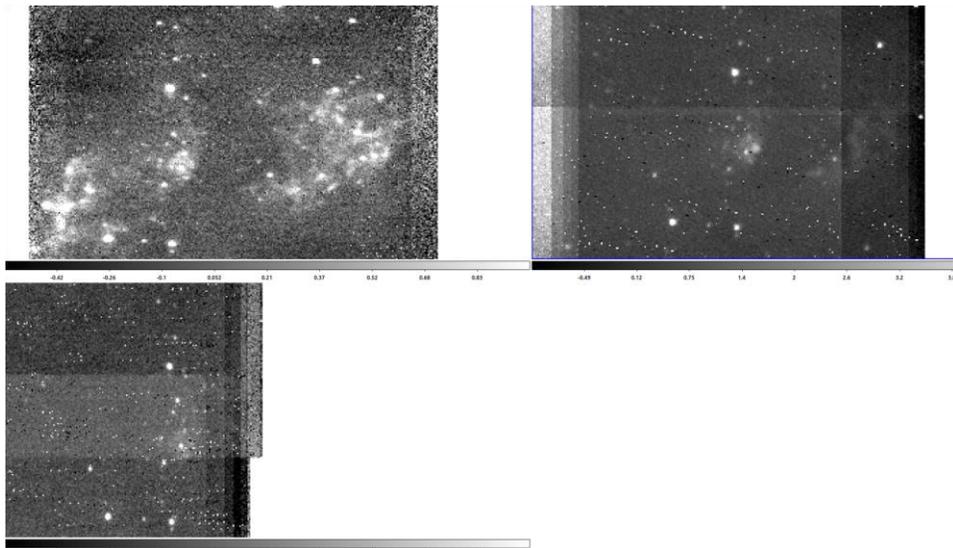


Figura 6: Emisión nebulosa en DR-21 orientada con Norte arriba y Este a la derecha. Arriba a la izquierda, hidrógeno molecular H_2 2.12 μm ; a la derecha, hidrógeno atómico $\text{Br}\gamma$ 2.16 μm ; abajo, el continuo *K* en 2.26 μm .

Para cada filtro, la observación consistió en 9 cuadros individuales con 30 segundos de integración por cuadro, sin guiar, y siguiendo una secuencia de *offsets* de telescopio en forma de cruz, repitiendo en el centro 5 veces y alternando cielo al N, S, E, W. Cabe hacer notar que durante esta temporada no funcionaron los *offsets* automáticos en el telescopio, por lo que los movimientos se llevaron a cabo manualmente.

La mediana de los cielos se utilizó como cielo para el mosaico, haciendo una combinación por promedio con sustracción de nivel mediano individual. Antes de combinar, los cuadros se aplanaron mediante campos planos (*flats*) de alta y baja iluminación, tomados previamente al atardecer.

Los cuadros centrales, así como los correspondientes a los cielos, se recentran con estrellas en común para construir el mosaico final.

Los mosaicos obtenidos en DR-21 se pueden comparar con los obtenidos en temporadas previas de CAMILA en el telescopio de 2.1-m (Cruz-González et al 2007). En la *Figura 6* se ve que la emisión de hidrógeno molecular chocado domina la región, extendiéndose desde el Este (parte derecha de la imagen) al Oeste, pasando por la región central con emisión de una región HII compacta, que también se aprecia en la imagen de hidrógeno recombinante en $B\gamma$.

Desafortunadamente, la imagen en el filtro continuo K no salió centrada en la misma posición; sin embargo, alcanza a mostrar que no existe emisión de continuo en la región HII ni en el *outflow* al Oeste de la región, como es de esperarse.

También se puede observar que el aplanado de las imágenes es suficientemente bueno ya que, en las intersecciones del mosaico, únicamente se observa un cambio en el nivel RMS del ruido (debido a las diferencias de tiempo de observación), mas no de nivel DC, dentro de los niveles de ruido del fondo.

En resumen: es posible observar emisión nebulosa extendida en los filtros nebulares, que no aparece en los filtros de continuo, lo que confirma la utilidad del sistema para observaciones del medio interestelar.

5. CONCLUSIONES

El funcionamiento de CAMILA hoy se compara con el obtenido en 2009, cuando se probó en todos los telescopios del OAN-SPM [1]. En aquella ocasión se escribió una tabla que es comparable a la Tabla 1, siendo sus principales diferencias las siguientes:

Escala de placa: ahora es 0.66"/pix; antes era 1.0"/pix, probablemente por una errata en la Tabla de la referencia [1].

Nivel de fondo en K (*background*): ahora es 949 conteos/seg, antes eran 280 conteos/seg. Sin embargo, la temperatura de la noche entonces fue de -1° C y ahora, de 13 C, lo que puede explicar la diferencia. Aun así, la magnitud límite en K sigue siendo comparable.

Calidad de imagen: 1.3 arcsec, constante en el campo de 2.8 minutos.

La PSF (*Point Spread Function*) entonces queda correctamente muestreada, al corresponder a justamente dos pixeles, de acuerdo con el teorema de Shannon.

Se observaron: una estándar en los filtros anchos, un cúmulo globular para ver calidad de imagen en campo y una región de formación estelar con emisión nebulosa chocada ($H2$) y ionizada ($B\gamma$) en la banda de 2 micras.

Así quedó de manifiesto que el sistema es fotométrico y que las imágenes extendidas son planas. Con esto se muestra que CAMILA está en condiciones para la observación científica en el telescopio de 1.5m.

6. REFERENCIAS

- [1] Salas, L., Herrera, J., Luna, E., Quirós, F., Gutiérrez, L., Valdés, J., García, B., Murillo, F. “Guía de alineación del instrumento Camila de Ulloa”. *Publicaciones Técnicas del Instituto de Astronomía, UNAM.* Comunicación Interna. CI-2010-03. México, 2010.

- [2] Cruz-González, I., Salas, L., Hiriart, D. 2007, “H₂ Velocity Structure in the Molecular Outflow DR 21”, *RevMexAA*, 43, 337-351.

APÉNDICE A. ACTUALIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y POSICIONES DE FILTROS

A continuación se presenta la actualización de la Tabla 2 de la referencia [1], mostrando las nuevas posiciones de los filtros.

Nótese el cambio en la posición de los filtros *Bry* y *HeI*, respecto al referido en el manual de CAMILA.

TABLA A1

Nuevas posiciones de filtros respecto de la Tabla 2 en [1]

#	Posición	Filtro	λ	$\Delta\lambda$
00	0009	dark		
01	111	Bry	2.166	0.02
02	217	Pay	1.094	0.01
03	319	H ₂ , v=2-1, S(1)	2.248	0.024
04	423	J	1.275	0.282
05	529	H	1.672	0.274
06	634	[FeII]	1.644	0.016
07	737	K'	2.125	0.35
08	840	H ₂ , v=1-0, S(1)	2.122	0.02
09	945	CO	2.295	0.02
10	1051	cK	2.26	0.06
11	1155	HeI	1.083	0.01

