

Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Matemática, Astronomía y Física
Trabajo Especial de la Licenciatura en Astronomía

Formación de Estrellas de Alta Masa

Autor: Hugo Pablo Saldaño

Directora: Mercedes Gómez

Córdoba, Marzo de 2011

Resumen En este Trabajo Especial se presenta un estudio en el infrarrojo cercano de las regiones de formación estelar asociadas con las fuentes IRAS 12272-6240 y IRAS 17149-3916. En un análisis fotométrico sobre las imágenes de las regiones en los filtros J($1.25 \mu\text{m}$), H($1.65 \mu\text{m}$) y Ks ($2.16 \mu\text{m}$), obtenidas con el telescopio Baade (Las Campanas, Chile), se identificaron potenciales cúmulos jóvenes asociados con cada una de las fuentes IRAS y se detectaron estrellas jóvenes en formación en un amplio rango de masas (desde 0.5 a $40 M_{\odot}$). También se analizan imágenes en B γ y H $_2$ obtenidas con el mismo telescopio. Este Trabajo Especial contribuye a una mejor comprensión de la formación de las estrellas de gran masa.

Clasificación: 97.10.Bt Star formation. 97.10.Cv Evolution. 97.10.Fy Circumstellar masers. 97.10.Gz Accretion and accretion disks. 97.10.Vm Distances. 97.10.Zr Color-magnitude, and color-color diagrams.

Palabras clave Estrellas masivas, Modelos de formación estelar, Evolución, Discos circunestelares, Maseres, Regiones HII, Infrarrojo cercano, Fotometría infrarroja, Diagramas color-color, Diagrama color-magnitud, Enrojecimiento interestelar.

A Dios por aparecer en nuestras vidas,
por su apoyo y cuidado
y amor incondicional.

Resumen Extendido

En este Trabajo Especial se presenta un estudio en el infrarrojo cercano de las regiones de formación estelar asociadas con las fuentes IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916. Imágenes en los filtros J($1.25 \mu\text{m}$), H($1.65 \mu\text{m}$) y Ks($2.16 \mu\text{m}$), obtenidas con el telescopio Baade (Las Campanas, Chile), permitieron construir diagramas color-color J–H vs H–Ks y color-magnitud Ks vs H–Ks de ambas regiones. Estos diagramas posibilitan la identificación de potenciales cúmulos jóvenes asociados con cada una de las fuentes IRAS y la selección de estrellas jóvenes en formación en un amplio rango de masas. Además de las magnitudes y colores se determinan las coordenadas ecuatoriales celestes de cada una de las fuentes. En total se obtienen 97 y 242 fuentes con $K_s < 19$, en la región de IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916, respectivamente, con excesos de color, típicos de estrellas jóvenes rodeadas por envoltentes y/o discos circunestelares. También se identificaron las estrellas masivas ($M > 8M_{\odot}$) en cada una de las regiones, algunas más evolucionadas que otras. La naturaleza de pre-secuencia principal de estos objetos podrá ser confirmado en un futuro próximo mediante espectroscopía infrarroja con el telescopio Gemini.

Se confrontan los diagramas color-color y color-magnitud de ambas regiones, con dos principales escenarios actuales de formación de estrellas de alta masa, el escenario de "merger" y el de acreción. Este análisis parecería indicar que ambos *modos* de formación de estrellas (de gran masa) podrían operar simultáneamente en ambas regiones.

También se analizan imágenes en $B\gamma$ y H_2 obtenidas con el mismo telescopio. $B\gamma$ delinea la región de emisión del hidrógeno atómico en cada región. En el caso de IRAS 12272–6240 aparece como una emisión difusa de morfología esférica, en tanto que para IRAS 17149–3916, se trata de estructuras más elongadas. Una de las fuentes, IRAS 17149–3916, evidencia la presencia de un nodo pequeño y compacto de emisión en H_2 , que posiblemente trace la región de choque de un jet estelar aún no detectado. Imágenes de mayor resolución y sensibilidad en $2.12 \mu\text{m}$ podrían confirmar esta hipótesis.

En el análisis presentado de estas dos regiones se lograron todos los objetivos propuestos en este Trabajo Especial, contribuyendo a una mejor comprensión de la

formación de las estrellas de gran masa, evento que no puede ser observado en la región óptica del espectro ya que ocurre en el interior de las nubes moleculares, oscurecido por el propio material (polvo) de las mismas.

Índice general

Introducción	10
1. Formación de las Estrellas de Gran Masa	13
1.1. Escenarios de Formación de Estrellas Masivas	13
1.2. Escenario de Acreción Amplificada	13
1.2.1. AFGL 2591	16
1.3. Principales Diferencias entre las Estrellas de Alta y Baja Masa	20
1.4. Escenario de "Merger"	23
1.4.1. Modelo Numérico del Escenario de "Merger"	26
1.4.2. Resultados de la Simulación	28
1.4.3. Otra Simulación	32
1.5. Escenario de Acreción Competitiva	36
1.6. Comentarios Finales	36
2. Evolución de las Estrellas de Gran Masa: Desde la Secuencia Principal a los Agujeros Negros	38
2.1. Introducción	38
2.2. Secuencia Principal	38
2.3. Evolución de Post-Secuencia Principal	39
2.4. Etapas Finales de Estrellas con Masas mayores a $8M_{\odot}$	42
2.4.1. Eventos de Súpernova	43
2.4.2. Estrellas de Neutrones y Pulsares	48
2.4.3. Agujeros Negros	49
2.5. Comentarios Finales	51
3. IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916: Dos Regiones de Formación de Estrellas de Gran Masa	53
3.1. Introducción	53

3.1.1.	IRAS 12272–6240	53
3.1.2.	IRAS 17149–3916	54
3.1.3.	Propiedades de las Regiones en 1.2 mm	55
3.2.	Observaciones en el Infrarrojo Cercano	58
3.2.1.	Datos Observacionales	58
3.2.2.	Corrección por "Flatfield" y Cielo	59
3.2.3.	Calibración Fotométrica: Obtención del Punto Cero de Magnitud en las Bandas Ks, H y J	59
3.2.4.	Imágenes Combinadas en el Infrarrojo Cercano de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916	60
4.	Fotometría Infrarroja de IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916	70
4.1.	Fotometría de Apertura en Banda Ancha	70
4.1.1.	Búsqueda y Detección de las Fuentes en la Banda Ks	70
4.1.2.	Determinación de las Magnitudes en J, H y Ks	73
4.2.	Distribución en Magnitudes (J, H y Ks) de las Fuentes Detectadas en cada Región	75
4.2.1.	Histogramas en Magnitudes de IRAS 12272–6240	75
4.2.2.	Histogramas en Magnitudes de IRAS 17149–3916	75
4.3.	Diagrama Color-Color J–H vs H–Ks	78
4.3.1.	Diagrama Color-Color de la Región IRAS 12272–6240	78
4.3.2.	Diagrama Color-Color de la Región IRAS 17149–3916	78
4.4.	Diagrama Color-Magnitud Ks vs H–Ks	81
4.4.1.	Método Cinemático para la Estimación de Distancias	81
4.4.2.	Enrojecimiento Interestelar	86
4.4.3.	Diagrama Color-Magnitud Ks vs H-Ks de la Región IRAS 12272–6240	87
4.4.4.	Diagrama Color Magnitud Ks vs H-Ks de la Región IRAS 17149–3916	87
4.5.	Relevamiento de Roman-Lopes & Abraham (2006) para la Región de IRAS 17149–3916	90
4.6.	Análisis de las Imágenes en Banda Angosta B γ y H $_2$	94
4.7.	Resumen y Conclusiones	94
5.	IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916 y la Formación de Estrellas Masivas	100
5.1.	Introducción	100

5.2. Regiones de Formación de Estrellas Masivas y de Protocúmulos Asociados	101
5.3. Comparación con otras Regiones de Formación de Estrellas de Alta Masa	101
5.3.1. IRAS 09149–4743	102
5.3.2. G085.40–0.00	105
5.3.3. Comparación de las Nuevas Regiones con las de la Literatura .	105
5.4. Perspectivas de Trabajos Futuros	109
5.4.1. Análisis Observacional	109
5.4.2. Modelado de Distribuciones Espectrales de Energía (SEDs) . .	110
5.4.3. Escenarios de Formación de las Estrellas Masivas	114
5.5. Comentarios Finales	116
Conclusiones	117
APÉNDICES	119
A. Indicadores de la Formación de Estrellas Masiva	120
A.1. Introducción	120
A.2. Núcleos Moleculares Densos "Dense Cores" o Núcleos Pre-Estelares .	120
A.3. Regiones HII Ultra-Compactas (UC HII)	122
A.4. Emisiones de Máser	124
A.4.1. Distribución Lineal de Máseres y Discos Visto de Canto	125
B. El Diagrama color-color J–H vs H–K en el Infrarrojo Cercano	128
B.1. Descripción	128
C. Datos de 2MASS para IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916	130
C.1. 2MASS: Breve Descripción	130
C.2. IRAS 12272–6240	131
C.2.1. Fuentes Detectadas: Histogramas de Magnitudes en las Bandas Ks, H y J	132
C.2.2. Diagrama Color-Color J–H vs H–Ks	132
C.3. IRAS 17149–3916	135
C.3.1. Fuentes Detectadas: Histogramas de Magnitudes en las Bandas Ks, H y J	136
C.3.2. Diagrama Color-Color J–H vs H–Ks	136
C.4. Telescopio BAADE vs Telescopio 2MASS	136

D. Fotometría de Apertura de las Fuentes IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916	140
D.1. Magnitudes J, H y Ks de las Fuentes Detectadas en la Fegión de IRAS 17149–3916	140
D.2. Magnitudes J, H y Ks de las Fuentes Detectadas en la Región de IRAS 12272–6240	156
Referencias	175

Introducción

Las estrellas masivas o de gran masa¹ ($M > 8M_{\odot}$) juegan un papel muy significativo en la evolución de la Galaxia que las contiene. Ellas son las fuentes principales de elementos pesados que serán devueltos al medio a través de la explosión de Súper-nova que ellas mismas experimentan al final de sus vidas, enriqueciendo al medio interestelar. Además mediante una combinación de los efectos de sus fuertes vientos estelares, "outflows", regiones de hidrógeno ionizado (HII) y las propias explosiones de supernovas se convierten en las principales responsables en poner en movimiento turbulento al medio interestelar de la Galaxia.

El proceso de formación de estrellas masivas o de alta masa es uno de los temas de la Astrofísica moderna que todavía no está bien comprendido. Esto, principalmente, se debe a las escasas evidencias observacionales de estrellas de masa alta en sus primeras etapas evolutivas, y también, a la cantidad y complejidad de los procesos involucrados en su formación. Cuando se tiene en cuenta el efecto magneto-hidrodinámico, los mecanismos de transferencia de radiación, la evolución química, la evolución de los granos de polvo, etc., enseguida se hace evidente que el proceso de formación de las estrellas de alta masa no es algo simple (Yorke 1993).

Las regiones donde se originan las estrellas masivas son las llamadas Nubes Moleculares Gigantes. Estas nubes, con temperaturas de ~ 10 K, son los objetos más grandes (dimensiones lineales de ~ 100 pc) y más masivos (masa $\sim 10^6 M_{\odot}$), que contiene la Galaxia. En particular las estrellas se forman dentro de los llamados Núcleos Moleculares Densos o Núcleos Pre-estelares², regiones de muy alta densidad dentro de estas nubes.

¹En este Trabajo Especial las expresiones: "estrellas masivas", "estrellas de gran masa" y "estrellas de alta masa" serán empleadas como sinónimos o expresiones equivalentes.

²Ver Apéndice A.2.

Una vez formadas, las estrellas de alta masa comienzan a interactuar con sus entornos produciendo regiones HII ultra compactas (UCHII³), emisiones de máser⁴, etc., efectos que revelan su presencia. Si bien estos eventos ayudan, en alguna medida, a entender cómo se forman y evolucionan las estrellas masivas, existen diferentes factores que dificultan las observaciones de las proto-estrellas de alta masa, a saber:

1. La cantidad. Estos objetos masivos son relativamente pocos respecto a la cantidad de estrellas de baja masa⁵.
2. La distancia. Las regiones de formación de las estrellas masivas más cercanas se encuentran entre 0.5-10 Kpc, en comparación con las regiones donde se forman estrellas de baja masa, las cuales yacen más cerca, a distancias de ~ 150 pc.
3. La rápida evolución. Estas estrellas, al tener cantidades importante de materia evolucionan rápidamente hacia la Secuencia Principal. Su evolución de Pre-Secuencia Principal es muy breve o, prácticamente, inexistente (~ 10.000 años). Este factor explica la dificultad para encontrar objetos estelares de alta masa en diferentes estadios evolutivos de Pre-Secuencia Principal.
4. La alta extinción óptica. Las estrellas de alta masa, al evolucionar rápidamente hacia la Secuencia Principal, yacen completamente embebidas o incrustadas en su nube molecular madre, haciéndose imposible su observación, principalmente, en el óptico. Típicamente poseen $A_V \sim 100$.
5. La formación en cúmulos. Por lo general las estrellas de alta masa no se forman individualmente, sino en cúmulos. Cada estrella influye significativamente y de manera compleja en su entorno local y, en algunos casos, en su entorno global.

Con el objetivo de aportar al conocimiento de las estrellas jóvenes de alta masa, en este Trabajo Especial se presenta un estudio en el infrarrojo cercano de dos regiones particulares de formación de estrellas de alta masa (IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916), seleccionadas del trabajo de Beltrán et al. (2006). Estos autores observaron, en la región submilimétrica del espectro (1.2 mm), un total de 235 fuentes frías y rojas, previamente detectadas por el satélite IRAS, con $\delta < -30^\circ$. El objetivo principal de este Trabajo es identificar candidatos pre-estelares de alta masa. Las dos fuentes seleccionadas, además de haber sido identificadas por Beltrán et al. (2006)

³En el Apéndice A.3 se describen las principales propiedades de estos objetos.

⁴Ver Apéndice A.4.

⁵Se consideran estrellas de baja masa aquellas con $M < 3M_\odot$.

como objetos pre-estelares de alta masa (masas 500-7000 M_{\odot}), presentan otros indicadores de juventud tales como: presencias de regiones UCHII, máseres de agua y metanol, nebulosas de reflexión, etc. Adicionalmente ambas fuentes presentan varias sub-condensaciones, detectadas en el sub-milimétrico por Beltrán et al. (2006), sugiriendo que cada una podría estar asociada con un proto-cúmulo de estrellas.

En el Capítulo 1, se describe el proceso de formación de las estrellas de alta masa y en el Capítulo 2 se comenta brevemente su evolución luego de la Secuencia Principal. Las dos fuentes seleccionadas para el presente Trabajo son presentadas en el Capítulo 3. La reducción y el análisis de los datos disponibles de estas dos regiones corresponden al Capítulo 4. Finalmente en el Capítulo 5 se discuten los resultados obtenidos y su importancia para la formación de las estrellas de alta masa.

Capítulo 1

Formación de las Estrellas de Gran Masa

1.1. Escenarios de Formación de Estrellas Masivas

Se conocen tres mecanismos para la formación de las estrellas de gran masa. Estos son:

1. Escenario de *Acreción Amplificada* (Shu et al. 1987, Lada 1987, Lada 1988, André et al. 1993).
2. Escenario de *Fusión o de "Merger"* (Bonnell et al. 1998, Bonnell, Bate & Vine 2003).
3. Escenario de *Acreción Competitiva* (Bonnell et al. 1997, 2001).

El primer escenario se refiere a la formación de las estrellas de manera individual, mientras que el segundo y el tercero aluden a la formación de estrellas en el centro de cúmulos estelares densos.

1.2. Escenario de Acreción Amplificada

Este escenario, también conocido como *Colapso Monolítico y Discos de Acreción*, no es más que el escenario de formación de las estrellas de baja masa pero amplificado. Es decir que todos los fenómenos involucrados se producen a gran escala.

Las estrellas se forman por inestabilidades del gas interestelar en las nubes moleculares. Cada vez que una gran masa es comprimida en un pequeño volumen, su fuerza gravitacional se vuelve suficientemente grande como para causar su propio colapso. En esta primera etapa se forman los llamados núcleos moleculares densos conocido como "dense cores"¹ o núcleos pre-estelares, los cuales poseen temperaturas $T \sim 10$ K, densidades $n \sim 10^5$ cm⁻³, y dimensiones (d) de algunas décimas de pc. Mientras más cantidad de material se halla condensado en esta región mayor va a ser su fuerza de atracción gravitatoria, y por consiguiente, con el transcurso del tiempo, irá adquiriendo mayor cantidad de material, cada vez más distante. El colapso gravitacional que experimenta el núcleo denso, en donde el gas y el polvo de la nube molecular caen hacia el centro del núcleo, es conocido como etapa de acreción.

De forma simultánea a la acreción se origina un viento estelar bipolar muy energético y bastante colimado que comienza a limpiar la zona polar de la estrella. Estos vientos interactúan con el material de la nube circundante, dando lugar a los llamados flujos bipolares moleculares, en radio, o "jets" estelares y objetos Herbig-Haro (HH²), en el óptico. Tanto los flujos bipolares moleculares como los "jets" serían, al menos en parte, los responsables de la pérdida del exceso de momento angular de la incipiente estrella. De otro modo, la nueva estrella se fragmentaría.

De acuerdo con el teorema del Virial, la proto-estrella libera energía sólo por contracción gravitatoria. Al acumularse mayor cantidad de materia, el objeto central se hace más opaco reteniendo la energía irradiada provocando el aumento de su temperatura y produciendo la sublimación de partículas sólidas y la ionización de átomos de la nube circundante (dando lugar a la formación de una región HII). En esta etapa de la evolución, la masa de la protoestrella es mucho más pequeña que la masa de la envolvente circundante.

El cuerpo central (la proto-estrella) continúa acreciendo masa, hasta que llega un momento en que la mayor parte del material de la envolvente circundante es acrecido. En este momento la proto-estrella posee más masa que la nube o envolvente

¹En el Apéndice A.2 se detallan las características de los "dense cores".

²Las objetos HH están estrechamente asociados con los "jets" estelares. Mientras los "jets" se expanden supersónicamente dentro del medio interestelar, las colisiones excitan el gas, resultando en objetos brillantes con líneas espectrales de emisión. De esta manera los objetos HH, se originan en la región de choque donde un viento o "jet" procedente de una estrella en formación interacciona con el material de la nube circundante.

que la rodea y, entonces, comienza a formarse un disco circunestelar en la zona ecuatorial. A partir de este momento la estrella en formación continúa acretando masa, principalmente a través del disco, pero a tasas más moderadas, en comparación con la fase inicial del colapso gravitacional propiamente dicho. El flujo bipolar continúa limpiando el material de la zona polar y, a la vez, perdiendo su colimación inicial a medida que interactúa con el gas de la nube circundante. Durante estas etapas, la estrella central permanece embebida o incrustada dentro del material de la nube progenitora, extinguida por varias decenas o centenas de magnitudes en el óptico. Las bajas temperaturas del objeto central y la extinción hacen que estos objetos en formación sólo sean observables en la región milimétrica y del infrarrojo lejano (300-50 μm) y medio (50-10 μm) del espectro.

En una etapa más avanzada de la evolución, el material de la envolvente circundante ha sido prácticamente agotado mientras que la estrella central sigue ganando masa desde el disco circunestelar, a tasas cada vez menores. Los flujos bipolares ya han disminuido considerablemente o han desaparecido. Finalmente, muy próxima a entrar a la Secuencia Principal, la estrella ya está prácticamente formada. El disco de gas y polvo ya no transfiere masa al cuerpo central. Se espera que en este disco remanente o residual se formen los planetas.

El esquema de la Figura 1.1 indica las distintas etapas o fases evolutivas de las estrellas de baja masa. El panel a) muestra un núcleo molecular denso, centro de contracción gravitatoria. El panel b) a la proto-estrella acretando material, principalmente, de la envolvente que colapsa y a los flujos moleculares bipolares, barriendo el material de la zona polar. La etapa c) muestra a la estrella central con su disco circunestelar, a través del cual continúan acretando material y los flujos bipolares que van perdiendo su grado de colimación inicial. Finalmente las fases d) y e), en el caso de las estrellas de baja masa corresponden a la etapa de estrellas de tipo T Tauri. La primera (d), con un disco activo a través del cual la estrella central gana material y la segunda (e), rodeada por un disco residual o remanente, que ha cesado toda transferencia de material, y en el cual se espera se formen cuerpos planetarios.

Los discos circunestelares y los flujos bipolares moleculares o los "jets" estelares son fenómenos naturales que juegan un papel muy importante en la formación de estrellas de baja masa. Estas estructuras (discos y "jets") han sido también observadas alrededor de objetos jóvenes y de gran masa. La Tabla 1.1, tomada del trabajo de Cesaroni et al. (2007), muestra un grupo de estrellas de gran masa las cuales presentan

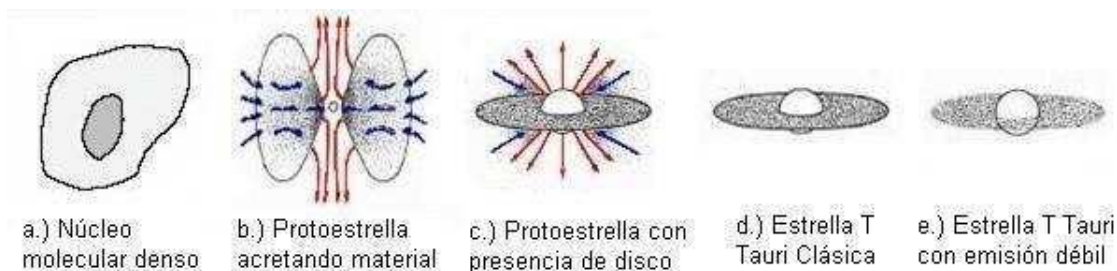


Figura 1.1: Diagrama esquemático de la secuencia evolutiva de las estrellas de baja masa en el escenario de acreción. Este esquema ha sido adaptado de los trabajos de Lada (1987), Lada (1988), André et al. (1993) y Chen et al. (1995).

algunas evidencias observacionales que indicarían la presencia de discos circunestelares. Son justamente estas evidencias las que sugieren que el proceso de formación de las estrellas de gran masa sería una versión ampliada de aquél de las de baja masa. Sin embargo se hace notar que, en la gran mayoría de los casos, los discos detectados pueden sólo ser considerados candidatos ya que las observaciones disponibles no son lo suficientemente sólidas para garantizar su existencia con absoluta certeza. Otro aspecto a notar es que la masa de muchas de las estrellas centrales está pobremente determinada y, en algunos casos, podría en realidad tratarse de objetos de masa intermedia³ (ver Tabla 1.1).

De la Tabla 1.1 se seleccionó a la fuente AFGL 2591 para describir, en la próxima Sección, las principales evidencias observacionales sobre las cuales se basa la existencia de un disco circunestelar asociado con la misma.

1.2.1. AFGL 2591

Este objeto es una fuente infrarroja, completamente oscurecida en el óptico, relativamente aislada, ubicada en la región de formación estelar masiva de Cygnus. van der Tak et al. (1999) estimaron una distancia 1-2 Kpc para este objeto y una luminosidad $L \sim 24 \times 10^4 L_{\odot}$, lo cual sugiere una masa de $10-15 M_{\odot}$. AFGL 2591 está asociada con un flujo bipolar molecular potente, detectado en el CO (Lada et al. 1984), con una extensión de ~ 1.5 pc y un tiempo dinámico de $\sim 2 \times 10^4$ años.

³Las estrellas de Pre-Secuencia Principal de masa intermedia, $3M_{\odot} < M < 8M_{\odot}$, son conocidas como estrellas de tipo Herbig AeBe (HAEBE).

Tabla 1.1: Candidatos a Estrellas de Gran Masa con Discos Circunestelares

Nombre	L(L _⊙)	M(M _⊙)	R(UA)	M _* (M _⊙)	\dot{M}_{out} (M _⊙ años ⁻¹)	t _{out} (10 ⁴ años)
AFGL	2.2-4 × 10 ²	3-6	≲ 500	8-10	6.2 × 10 ⁻⁴	0.95
G192.16-3.82	3 × 10 ³	15	500	6-10	5.6 × 10 ⁻⁴	17
AFGL 5142	4 × 10 ³	4	1800	12	1.6 × 10 ⁻³	2
G92.67+3.07	3 × 10 ³	12	14400	4-7.5	1.7 × 10 ⁻⁴	0.35
Orion BN	2.5 × 10 ³⁻⁴	?	500	7-20 ^b	10 ⁻⁵	?
Orion I	4 × 10 ³⁻⁵	?	500	≳ 6	10 ⁻³	?
IRAS 20126+4104	10 ⁴	4	1600	7	8.1 × 10 ⁻⁴	6.4
G35.2-0.74N	10 ⁴	0.15	1500	4-7	3 × 10 ⁻³	2
Cep A HW2	~10 ⁴	1-8	400-600	15	3 × 10 ⁻⁵	3
AFGL 2591	2 × 10 ⁴	0.4-1.8	500	16	5.8 × 10 ⁻⁴	6
IRAS 18089-1732	6 × 10 ⁴	12-45	1000	< 25	?	4
M17	?	4- >110	7500-20000	< 8 - 20	?	?

Notas:

La columna (2) corresponde a la luminosidad del objeto, las (3) y (4) a la masa y el radio del disco circunestelar, la (5) es la masa de la estrella central, las (6) y (7) son la tasa de pérdida de masa y la escala de tiempo dinámico del "outflow".

Tabla obtenida de Cesaroni et al. (2007).

Poetzel, Mundt & Ray (1992) descubrieron tres condensaciones u objetos HH alineadas con este objeto estelar joven (YSO "young stellar object") de alta luminosidad. Estos nodos, emisores en H₂, fueron encontrados en ambos lóbulos del flujo en CO. Además, la dirección de los objetos HH (con un ángulo de posición de ~ 258°) es consistente a la del flujo molecular (ángulo de posición de ~ 270°). Espectroscopía de ranura larga muestra que los objetos HH se mueven a velocidades radiales muy elevadas alcanzando un valor máximo de 500 Km/s.

El espectro en el infrarrojo medio obtenido por el "Infrared Astronomy Satellite (IRAS)" muestra una profunda absorción en 10μm (Marengo et al. 2000). Esta absorción es usualmente atribuida a los silicatos interestelares. La marcada profundidad de la misma sugiere que esta fuente se encuentra rodeada por una envoltura de polvo ópticamente grueso, tal vez en caída libre hacia la estrella central (van der Tak et al. 1999).

Preisbisch et al. (2003) obtuvieron una imagen, en la banda K, que evidencia una estructura cónica bien definida con una fuente compacta y brillante centrada en el vértice. La Figura 1.2 muestra las imágenes en las bandas J, H y K obtenidas con el instrumento NIRI ("Near-Infrared Imager and Spectrometer") del telescopio Gemini Norte de AFGL 2591 (Zinnecker & Yorke 2007). En ella puede verse la presencia de un "contra-jet", débilmente perceptible, a la izquierda, oscurecido por el material envolvente. Estas morfologías sugieren la presencia de material que produce oscurecimiento, del tipo de un disco en un plano perpendicular a la dirección del flujo bipolar (Preisbisch et al. 2003).

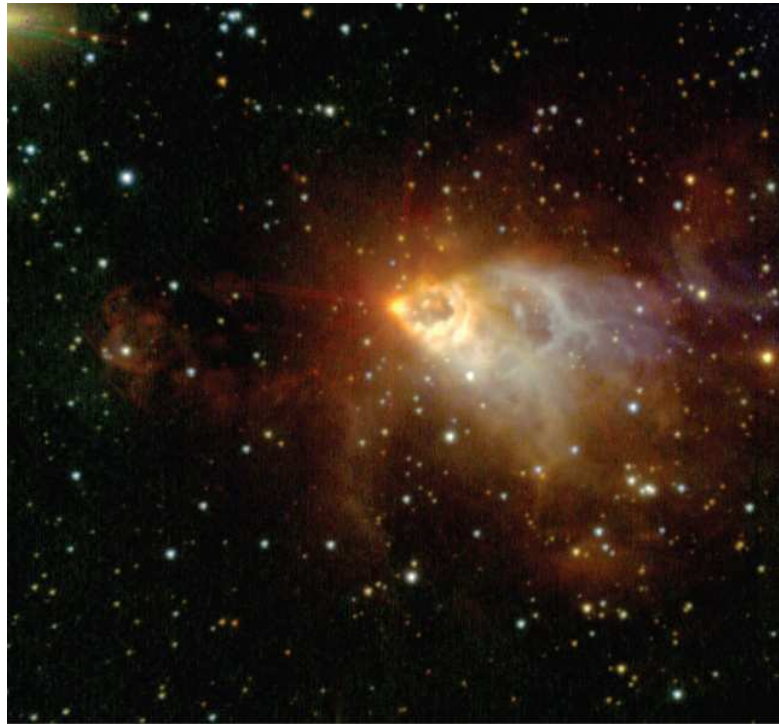


Figura 1.2: AFGL 2591: Imagen resultante de la combinación de las imágenes individuales tomadas en las bandas J, H, y K con el telescopio Gemini Norte. Hacia el lado derecho de esta imagen se observa el "jet" con una estructura cónica claramente visible. También puede apreciarse, hacia el lado izquierdo de la figura, un "contra-jet" débil, oscurecido con el material de la envolvente. Imagen tomada de Zinnecker & Yorke (2007).

El entorno de AFGL 2591 ha sido bien estudiado con interferometría milimétrica y observaciones sub-milimétricas por van der Tak et al. (1999). Sus estudios dieron los siguientes resultados:

1. AFGL 2591 es probablemente una estrella temprana tipo B rodeada por una gran envoltura ($R \sim 30000$ UA) con una extinción visual de $A_V = 100$ mag. La masa circunestelar total derivada de mediciones del continuo del radio resultó de $\sim 42M_\odot$.
2. La parte central de la envoltura parece tener una estructura densa y compacta, posiblemente un disco o toroide circunestelar ópticamente denso con un radio ~ 30 UA.
3. En la cavidad de "outflow" bipolar, el gas estelar se aleja de la fuente central a velocidades ~ 20 Km/s. La estrella emite un viento ionizado con una velocidad de casi 500 Km/s.

Observaciones hechas por Trinidad et al (2002) confirman la presencia de un disco circunestelar gracias a la detección de máseres en esta región. Estos autores encontraron 85 máseres puntuales (o "spots") de agua, distribuidos en tres principales grupos. Dos de esos grupos coinciden espacialmente con dos fuentes de radio, observadas en 3.6 cm por el VLA, clasificadas como de tipo espectrales B0.5 y B2. El tercer grupo de máseres coincide con el centro del flujo estelar observado en esa región. Este último grupo forma una estructura lineal, perpendicular a la dirección el flujo bipolar detectado en CO. La Figura 1.3 muestra la distribución lineal de este grupo de máseres de agua. El tamaño de esta estructura (~ 10 UA) y su distribución espacial parecen sugerir que se trata de un disco visto de canto⁴.

En el caso de AFGL 2591, la evidencia observacional parecería, entonces, sugerir la presencia de un disco circunestelar y de flujos moleculares bipolares asociados a una estrella de gran masa. Si bien sería deseable realizar nuevas observaciones a fin de determinar con mayor certeza la presencia y características del disco, los datos actuales son suficientes para proponer que esta estrella, de gran masa, pudo haberse formado a través del mecanismo de *Acreción Amplificada*. Sin embargo, como veremos en la próxima Sección, existen una variedad de diferencias entre estrellas de alta masa y de baja masa que obligan a formular otros mecanismos de formación para estrellas de alta masa.

⁴En el Apéndice A.4 se describe el fenómeno de máser y se presentan los argumentos por los cuales una distribución lineal de los mismos sugiere la presencia de un disco visto de canto.

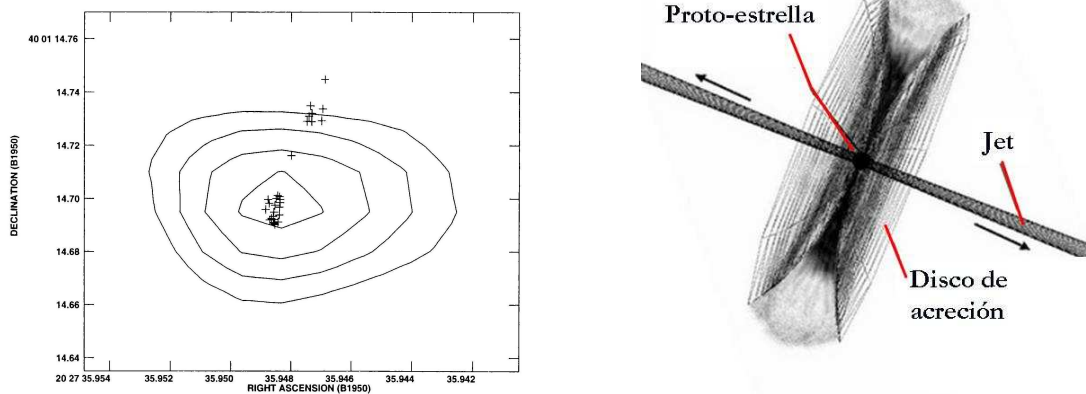


Figura 1.3: El panel de la izquierda muestra el mapa en el continuo del radio en 1.3 cm de la región AFGL 2591. Las cruces indican las posiciones de los máseres de H_2O asociados con esta región, delineando lo que sería un disco circunestelar visto de canto, perpendicular a la dirección del flujo bipolar. La Figura ha sido adoptada del trabajo de Trinidad et al. (2002). En el panel de la derecha se muestra una representación esquemática del disco (en el cual yacen los máseres de agua) y del jet, perpendicular al disco.

1.3. Principales Diferencias entre las Estrellas de Alta y Baja Masa

Las evidencias observacionales para AFGL 2591, discutidas en la Sección anterior, junto con los ejemplos de la Tabla 1.1, representarían argumentos a favor del escenario de acreción para la formación de estrellas de alta masa. No obstante, en la formación de las estrellas masivas, aparecen diversos procesos físicos que no son comunes para sus análogas de baja masa. Estos procesos cuestionan el hecho de que la formación de las estrellas de gran masa pueda ser considerado, en todos los casos, como simplemente una versión amplificada del proceso de formación de las estrellas de baja masa, con discos de acreción. A continuación se discuten las principales diferencias entre las estrellas de alta y baja masa.

Para las estrellas de baja masa (o de tipo solar), la intensidad de sus campos de radiación juega un papel insignificante sobre el gas y el polvo de la envolvente. Por el contrario, las estrellas masivas luminosas, con tipos espectrales más temprano que B4, alcanzan temperaturas que son lo suficientemente altas para que su presión de radiación pueda modificar significativamente su medio circundante. En particular,

esta presión puede alterar el proceso de acreción y hasta inhibirlo, fotoevaporando el disco de la estrella.

La Figura 1.4 muestra el caso de un protocúmulo, que yace en la región de formación estelar W5, que se encuentra en la nebulosa de Casiopea (~ 2 Kpc). En la imagen se puede observar como una estrella masiva (azul, de tipo espectral O) "vuela", prácticamente, toda la envoltura protoplanetaria de por lo menos cinco estrellas jóvenes de masa solar (de color rojizo en la Figura 1.4). Cada una de estas estrellas presenta una estructura en forma de cola de cometa apuntando en la dirección opuesta la estrella masiva (Koenig et al. 2008, ver también Balog et al. 2006).

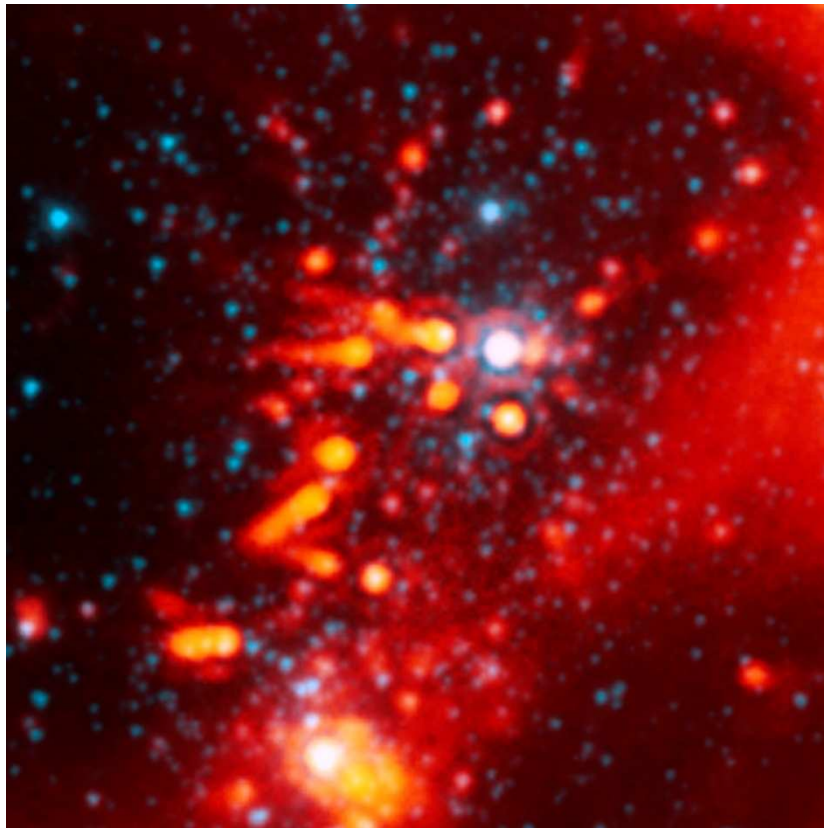


Figura 1.4: Región de formación estelar W5 en Casiopea, a una distancia de ~ 2 Kpc. Imagen tomada por telescopio Spitzer, combinación en colores falsos de imágenes individuales en $24 \mu\text{m}$ (color rojo, correspondiente, preferentemente a la emisión del polvo) y en azul ($3.6 \mu\text{m}$). Imagen tomada del sitio web <http://www.spitzer.caltech.edu/images/1595-sig08-017-Devastated-Stellar-Neighborhood>. Ver, también, trabajos de Koenig et al. (2008) y de Balog et al. (2006).

Por otro lado, la radiación UV lejana de las estrellas masivas influencia, en gran medida, en la nube molecular madre, disociando las moléculas H_2O y CO . Para este proceso se requiere fotones de casi 11.2 eV, que las estrellas de masa baja e intermedia no son capaces de producir. Por esta razón, Cesaroni et al. (2007) sugieren que la presencia de discos en estrellas de gran masa sería común para masas estelares menores que $20M_\odot$.

Otra diferencia importante entre las estrellas de alta y baja masa es que, mientras las últimas "gastan" una parte considerable de su juventud como objetos de Pre-Secuencia Principal, contrayéndose hacia la Secuencia Principal (30 millones de años para una estrella de masa solar), las estrellas de alta masa nacen, prácticamente, sobre la mencionada secuencia. Casi el 15% del tiempo de vida de las estrellas de alta masa transcurre embebido en su nube madre.

Teóricamente, se encuentra que la escala de tiempo de Kelvin-Helmholtz (τ_{KH}), es menor para estrellas de alta masa que para estrellas de baja masa. Este tiempo se considera, en general, como aquél que emplea la estrella para evolucionar a la Secuencia Principal, momentos antes de la fase del quemado del hidrogeno. Para una estrella de masa M_* está dado por:

$$\tau_{\text{KH}} \sim \frac{GM_*^2}{R_*L_*}. \quad (1.1)$$

A una estrella de $1 M_\odot$ le lleva aproximadamente 3×10^7 años llegar a la Secuencia Principal, mientras que para una estrella de $50 M_\odot$ este tiempo es mucho menor, de tan sólo $\sim 10^4$ años. Por otro lado, el tiempo que emplea un centro de condensación en finalizar su fase de acreción, conocido como tiempo de caída libre (τ_{ff}), está determinado principalmente por la densidad de la nube de la nube colapsante:

$$\tau_{\text{ff}} = \left(\frac{3\pi}{32G\rho} \right)^{1/2}. \quad (1.2)$$

Para densidades promedios de los núcleos moleculares ($n \sim 10^4 \text{ cm}^{-3}$), el tiempo de caída libre es del orden $\sim 4 \times 10^5$ años, independientemente de la masa final del objeto central. Entonces, para estrellas muy masivas $\tau_{\text{KM}} \ll \tau_{\text{ff}}$, de manera que estas estrellas comienzan a quemar su hidrógeno mucho antes de que cese la fase de acreción o contracción gravitatoria y por lo tanto, en la práctica, no poseen una etapa observable de Pre-Secuencia Principal.

Esto hace que las estrellas de alta masa pasen todo su breve tiempo de vida de Pre-Secuencia Principal, envueltas en el polvo de la nube molecular en donde se están formando. Esta fase evolutiva no es observable en el óptico o en el infrarrojo cercano y medio ($\lambda \leq 10 \mu m$). Por el contrario, las estrellas de baja masas se tornan ópticamente visibles antes de llegar a la secuencia principal, lo cual facilita grandemente su observación (Yorke 1986).

Finalmente cabe mencionar que si bien el escenario de acreción amplificada explica la formación de estrellas masivas, aisladas, sin intervención alguna de otras estrellas cercanas (ver Tabla 1.1), este escenario no puede explicar la existencia de varias estrellas de alta masa muy próximas entre sí, como se observa, frecuentemente, en algunos cúmulos jóvenes o embebidos. Tal es el caso del cúmulo del Trapecio, el cúmulo NGC 3603, o R136 (30 Dor), los cuales presentan un número significativo de estrellas de alta masa de tipo espectral O y B en sus respectivos centros. La Figura 1.5 muestra el caso de R136 (30 Dor), en comparación con NGC 3603 y el cúmulo del Trapecio.

1.4. Escenario de "Merger"

Si bien todas las estrellas se forman en núcleos moleculares densos, observacionalmente, se encuentra que el producto final de la formación de estrellas de alta masa son cúmulos o asociaciones de estrellas OB ligadas o no gravitacionalmente. El ejemplo clásico de cúmulos de estrellas OB es el cúmulo de Trapecio de la nebulosa de Orión. Las asociaciones de estrellas OB son grupos de estrellas que están muy repartidas en la nube molecular gigante, con distancias entre ellas de 1-10 pc.

Surge el interrogante de que si las estrellas masivas sólo se encuentran en cúmulos o asociaciones de estrellas OB o, si por el contrario, también pueden encontrarse fuera de estas regiones, en forma aislada. Se conoce una clase de estrellas masivas, las llamadas estrellas OB fugitivas ("runaway OB stars"), que en un principio, serían estrellas eyectadas de su lugar de nacimiento por interacción gravitatoria, adquiriendo excesos de velocidades de hasta 40 Km/s.

La suposición de que el escenario de formación de estrellas de alta masa sea una ampliación del escenario de formación de estrellas de baja masa ha sido cuestionado por Bonnell et al. (1998) y Stahler et al. (2000), quienes han sugerido que las estre-

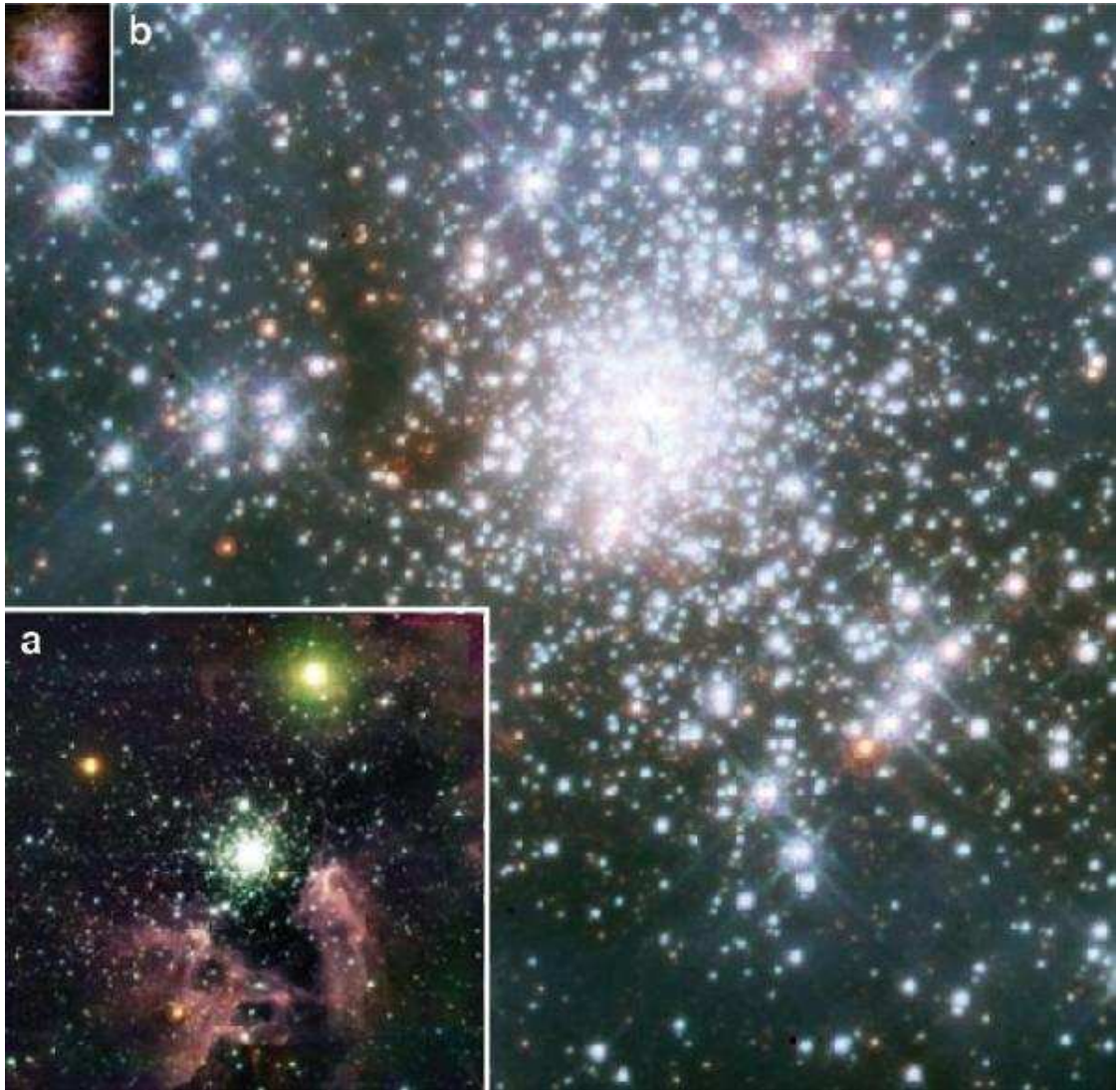


Figura 1.5: Imágenes óptica e infrarroja cercana tomada por el Telescopio Espacial Hubble del cúmulo denso de estrellas jóvenes masivas R136/30Dor. Decenas de estrellas de alta masa de tipo espectral O se encuentran dentro de un radio de 2 pc en este cúmulo. El panel inserto (a) muestra una imagen del NGC 3603 y panel (b) una cúmulo de Trapezio en Orión, tomadas por el telescopio VLT ("Very Large Telescope", Paranal, Chile). Figura adaptada del trabajo de Zinnecker & Yorke (2007).

llas masivas ($M > 20 M_{\odot}$) pueden formarse vía fusión ("merger") de estrellas de masa baja e intermedia, en el seno de cúmulos densos (Churchwell 2002).

Como se mencionó en la Sección anterior, uno de los problemas más grande que existe en la formación de estrellas de alta masa es la presión de radiación, puesto que en las primeras etapas evolutivas de un objeto estelar de gran masa, la presión crece considerablemente cuando la estrella ha acretao alrededor de $10\text{-}15M_{\odot}$. En estas condiciones la presión de radiación inhibiría la formación de la estrella o afectaría la estabilidad del disco circunestelar. Además, se restringiría el rango de masa de las estrellas que podrían formarse mediante el escenario de acreción.

El modelo de fusión o "merger", donde las estrellas masivas son formadas por la colisión de estrellas jóvenes o núcleos estelares de menor masa en cúmulos o proto-cúmulos estelares, evita el problema de la presión de radiación de la estrella resultante, cuya luminosidad es suficientemente elevada como para detener el colapso del material. Sin embargo, para que el proceso de fusión funcione se requieren densidades estelares muy elevadas.

Una condición para que esto suceda es que el tiempo de colisión⁵ (t_{coll}) sea menor que el tiempo de evolución de las estrellas más masivas en el cúmulo (~ 3 millones de años). La expresión del tiempo colisional tiene la siguiente forma:

$$\frac{1}{t_{coll}} = 16\sqrt{\pi}n\nu_{disp}R_*^2 \left(1 + \frac{GM_*}{2\nu_{disp}^2R_*} \right) \quad (1.3)$$

En la Figura 1.6, tomada del trabajo de Bonnell & Bate (2002), muestra el tiempo colisional como función de la densidad estelar, para la formación de una estrella de $10 M_{\odot}$, asumiendo un radio colisional de $10 R_{\odot}$ y una velocidad de dispersión de 2 Km s^{-1} , en escala logarítmica.

Si consideramos como ejemplo el cúmulo del Trapecio, que presenta en la actualidad una densidad media de 10^3 estrellas/ pc^3 , de la Figura 1.6 se obtiene un tiempo colisional $\sim 10^{10}$ años. Es decir que se hubieran requerido 10^{10} años para formar el cúmulo de Trapecio mediante colisiones, si el mismo hubiese tenido siempre una densidad como la actual. Sin embargo esta edad no es consistente con la obtenida

⁵definido como el tiempo necesario para que una estrella de masa M_* y radio R_* se forme a través de fusiones o colisiones en un cúmulo estelar de densidad media n y velocidad de dispersión ν_{disp}

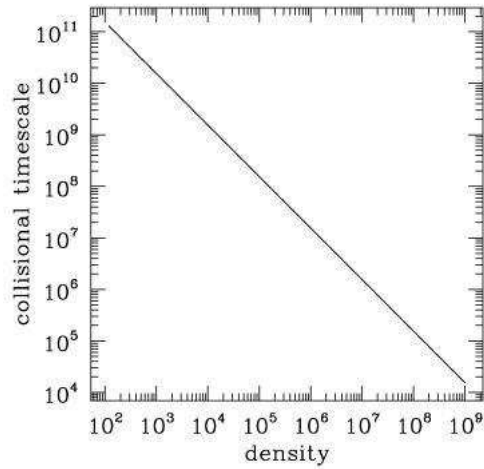


Figura 1.6: Tiempo colisional (en años) como función de la densidad estelar (estrellas/pc³), para la formación de una estrella de 10 M_⊙, asumiendo un radio colisional de 10 R_⊙ y una velocidad de dispersión de 2 Km s⁻¹, en escala logarítmica. Figura adoptada del trabajo de Bonnell & Bate (2002).

observacionalmente, de unos pocos millones de años. Entonces para que el cúmulo de Trapecio se forme a través de las fusiones o "mergers" de estrellas de menor masa, la densidad inicial u original del mismo debió haber sido mucho mayor que la actual, es decir, mayor que 10⁸ estrellas/pc³ (ver Figura 1.6). De esta forma para que el proceso de fusión pueda formar estrellas masivas en tiempos compatibles con las observaciones, las densidades iniciales de los proto-cúmulos debieron ser bastantes elevadas.

1.4.1. Modelo Numérico del Escenario de "Merger"

El escenario colisional ha sido desarrollado numéricamente. Numerosas simulaciones, realizadas por la súper-computadora "UK Astrophysical Fluids Facility (UKAFF)", ha sido empleadas para reproducir este escenario, utilizando un método Lagrangiano conocido como "Smoothed Particle Hydrodynamic (SPH)".

Este método utiliza códigos híbridos y no es más que un problema de N-cuerpos en donde se combinan las leyes de la gravedad con aquéllas de la hidrodinámica. En la simulación hecha por Bonnell, Bate & Vine (2003) se sigue la fragmentación de una nube molecular turbulenta, y la subsiguiente formación y evolución temprana de

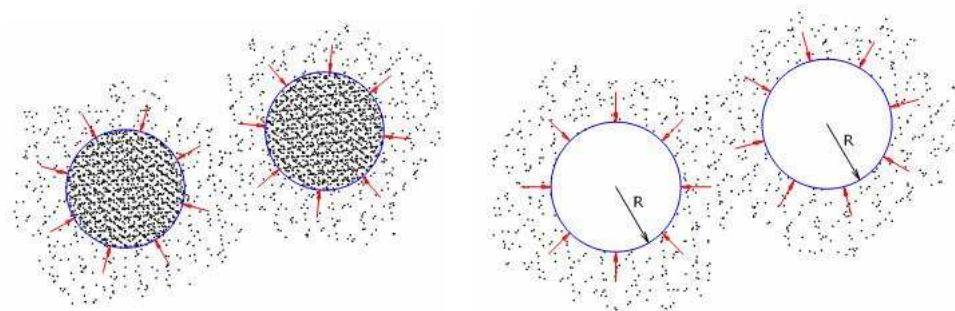


Figura 1.7: El esquema del lado izquierdo muestra centros de condensación gravitatoria, constituidas por partículas puntuales SPH en continua acreción del material de la nube. El lado derecho corresponde a partículas sumideros de radio finito que reemplazan a los centros de condensación una vez que estos superan la masa de Jean.

un cúmulo estelar conteniendo más de 400 estrellas. Para simular la nube molecular se utilizan 10^5 partículas puntuales (SPH). La nube madre contiene una masa inicial de $1000 M_{\odot}$, posee un diámetro de 1 pc y una temperatura inicial de 10 K.

Una vez que la fragmentación de la nube ha producido centros de condensación, con masas superiores a la dada por el criterio de Jean⁶ para el colapso gravitacional, las partículas SPH son reemplazadas por partículas sumideros con radio finito (Bonnell, Bate & Price 1995). La Figura 1.7 esquematiza ambos tipos de partículas. Las partículas sumideros son usadas para seguir la evolución de las estrellas recientemente formadas, capaces de interactuar gravitacional y colisionalmente entre ellas. Para escalas más pequeñas que el radio sumidero se pierde toda clase de información. Además de las colisiones, las nuevas estrellas también van a continuar adquiriendo masa acreitando gas de la nube madre.

Las Figuras 1.8 y 1.9, muestran distintas etapas de una de las simulaciones realizadas y presentadas en el trabajo de Bonnell, Bate & Vine (2003). Las primeras fases de esta simulación corresponden a la Figura 1.8. Se considera una nube molecular inicialmente esférica que comienza su evolución con un movimiento turbulento supersónico presente en el gas de la nube (panel a). Esto produce regiones de choque

⁶La masa de Jean (M_J) es la masa mínima que puede tener un centro de condensación para que se produzca el colapso gravitacional. En primera aproximación M_J depende de la temperatura (T) y de la densidad (ρ), de la siguiente forma: $M_J = \left(\frac{5R_g T}{2G\mu}\right)^{3/2} \left(\frac{4}{3}\pi\rho\right)^{-1/2}$, donde R_g es la constante de los gases, G la constante gravitacional y μ el peso molecular medio.

que dan lugar a la formación de estructuras filamentarias, como puede verse el panel (b). La naturaleza caótica del gas de la nube produce regiones de alta densidad en estas estructuras (panel c) que, si cumplen con el criterio de Jean, colapsan para formar estrellas individuales de baja masa. La formación de estrellas ocurre simultáneamente en varias ubicaciones de la nube (panel d). Las estrellas y el gas residual interactúan, haciendo que cada vez más gas sea acregado por las incipientes estrellas.

La Figura 1.9 corresponde a las cuatro fases más avanzadas de la simulación descrita. Las estrellas recientemente formadas se encuentran profundamente embebidas o incrustadas en el gas de la nube molecular (panel a). Las interacciones gravitatorias entre las estrellas hacen que éstas se agrupen rápidamente, para formar subcúmulos estelares, conteniendo de cinco a varias decenas de estrellas cada uno (panel b). El número de estrellas en los subcúmulos aumenta a medida que más estrellas se formen cerca de éstos, quedando atrapadas en los potenciales de los mismos. Cada uno de estos subcúmulos llega a contener hasta cientos de estrellas, recientemente formadas.

La evolución posterior está marcada por la acreción de más estrellas y gas a los subcúmulos, por una decreciente tasa de formación estelar, una eventual eyección de algunas estrellas por interacciones gravitatorias ("runaway star") y por la fusión entre los subcúmulos (panel c). Esta fusión entre subcúmulos aumenta la densidad estelar, creciendo las probabilidades de que se produzcan las colisiones y fusiones entre las estrellas de baja masa. Finalmente, a través de las fusiones de los subcúmulos se forma un único cúmulo conteniendo centenas de estrellas. Es en el interior de este cúmulo en donde se van a producir las fusiones entre estrellas de masa baja e intermedia para formar las estrellas masivas (panel d).

1.4.2. Resultados de la Simulación

Al finalizar la simulación se ha formado un cúmulo estelar con un aspecto prácticamente esférico, con un núcleo concentrado de estrellas recientemente formadas, como suele observarse en los cúmulos estelares jóvenes de nuestra Galaxia (ver, por ejemplo, Hillenbrand 1997, Lada 1999, Lada & Lada 2003). El cúmulo contiene más de 400 estrellas formadas en un tiempo dinámico de 4.5×10^5 años, con un rango de masa de $0.07\text{--}27 M_{\odot}$.

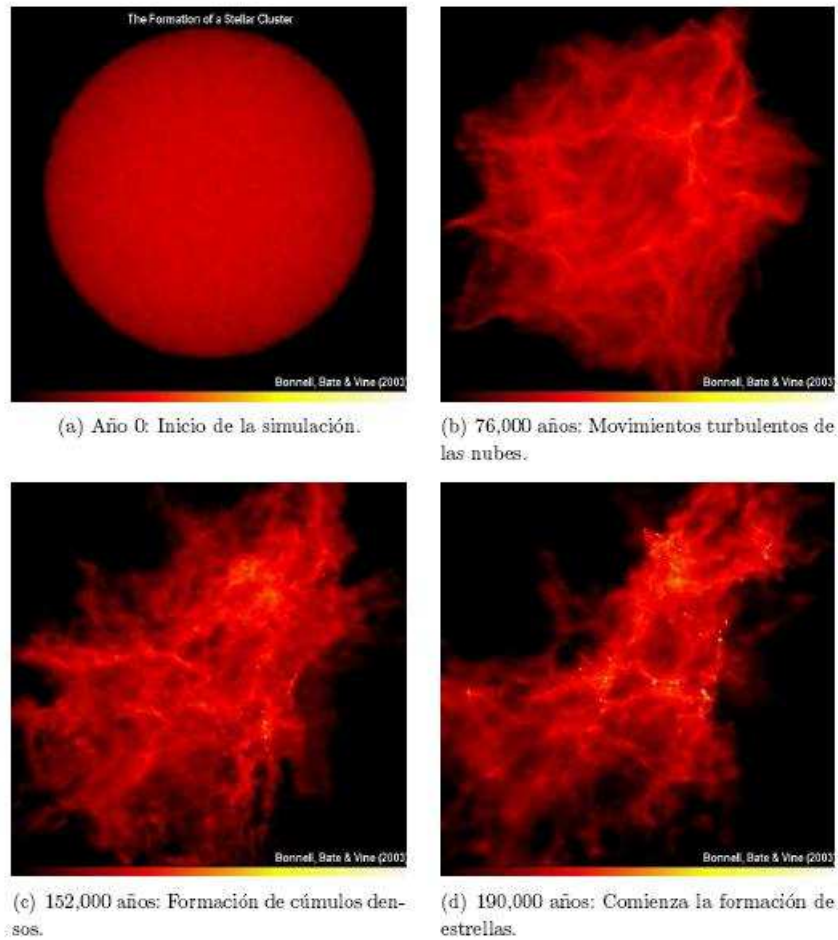


Figura 1.8: Primera etapa de la simulación numérica realizada con la supercomputadora "UK Astrophysical Fluids Facility" por Bonnell, Bate & Vine (2003). Se muestra la secuencia evolutiva de la nube molecular en los cuatro estadios iniciales. Estas imágenes han sido tomadas del sitio web <http://star-www.st-and.ac.uk/iab1/animations.html>.

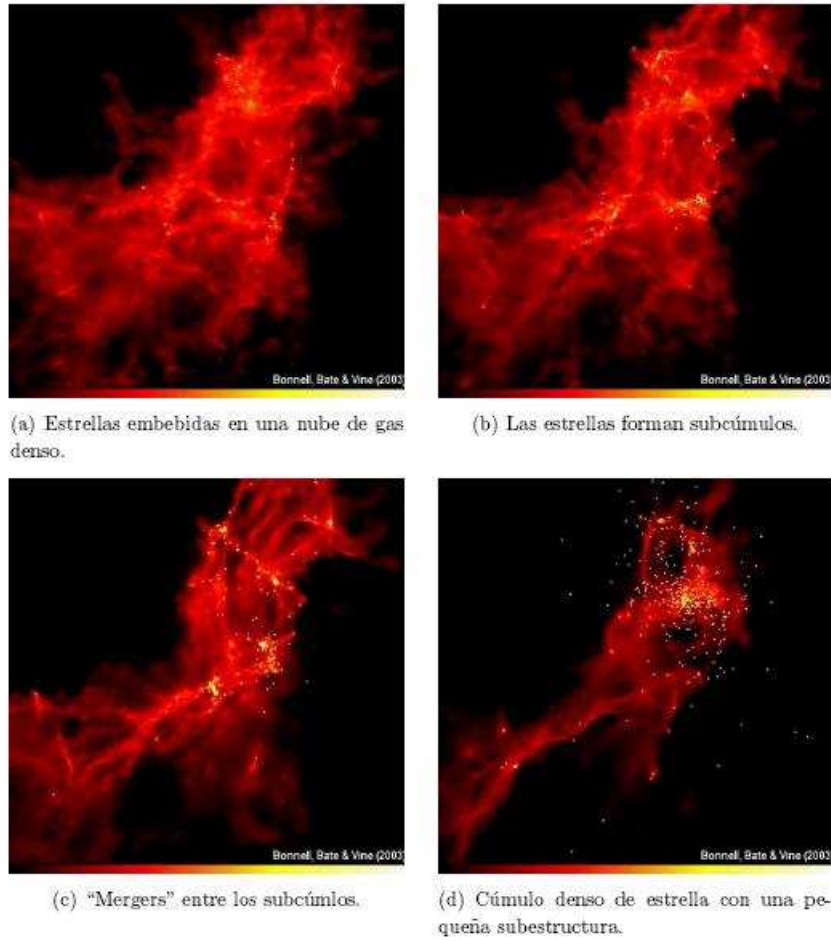


Figura 1.9: Segunda etapa de la simulación numérica realizada con la supercomputadora "UK Astrophysical Fluids Facility" por Bonnell, Bate & Vine (2003). Se muestra la secuencia evolutiva de la nube molecular en los cuatro estadios finales. Estas imágenes han sido tomadas del sitio web <http://star-www.st-and.ac.uk/iab1/animations.html>.

En el panel del lado izquierdo de la Figura 1.10 se muestra la Función Inicial de Masa (IMF "Initial Mass Function"⁷) del cúmulo resultante. El panel del lado derecho de la misma figura muestra la IMF de la Vecindad Solar determinada por Kroupa (2001). La IMF correspondiente a la simulación analizada presenta un comportamiento (pendiente) prácticamente plano entre, aproximadamente 0.1 y $1 M_{\odot}$, mientras que para estrellas de mayor masa evidencia una caída exponencial, con pendiente $\Gamma = -1$, consistente con la IMF de Salpeter (1955), $\Gamma = -1,35$, indicada por una línea de trazo continuo en el panel izquierdo de la Figura 1.10.

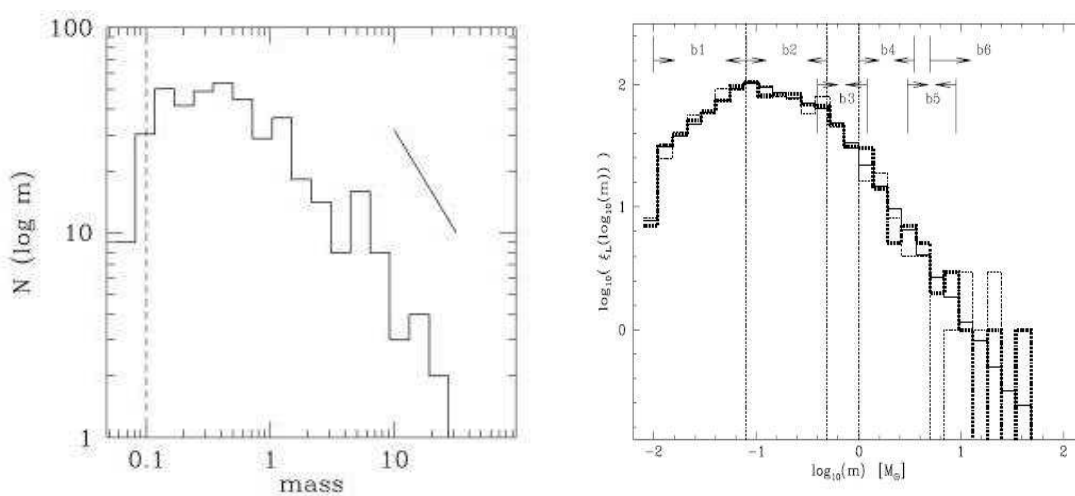


Figura 1.10: Panel izquierdo: Función Inicial de Masa (IMF) resultante para la simulación presentada por Bonnell, Bate & Vine (2003). Con línea continua, en el mismo panel, se indica la pendiente de la IMF de Salpeter (1955). Panel derecho: IMF de Kroupa (2001), derivada para la Vecindad Solar. Notar que se emplean escalas logarítmicas en ambos ejes.

El comportamiento de la IMF para la simulación descrita es también compatible, en líneas generales, con la IMF de Kroupa (2001). Adicionalmente se podría considerar ajustes a la IMF de la simulación en tres rangos de masas: estrellas de alta masa, de masa intermedia y de baja masa. En este caso se obtendría una pendiente algo más pronunciada para las estrellas de alta masa, una de menor pendiente para las de masas intermedia y otra significativamente menor o plana en el rango de las estrellas de baja masa, en forma más similar a la IMF de Kroupa (2001).

⁷La Función Inicial de Masa da el número de estrellas formadas por intervalo de masa. En otras palabras, la IMF corresponde a la distribución de las masas de las estrellas en el momento de sus nacimientos. Usualmente, se la presenta en escala logarítmica, $\text{Log}(N)$ vs $\text{Log}(m)$.

Cabe mencionar, además, que la pendiente o exponente de la ley de potencia para las estrellas de alta masa en esta simulación es comparable con las derivadas en otras simulaciones, en particular, con aquélla obtenida por Bonnell & Bate (2002) en donde las estrellas de alta masa son formadas a través de una combinación de acreción de gas y "mergers" estelares.

1.4.3. Otra Simulación

Bonnell & Bate (2002) realizaron una simulación de alta resolución en la súper computadora UKAFF, similar a la explicada anteriormente. Estos autores siguieron también la evolución de una nube molecular y la posterior formación de estrellas de alta, intermedia y baja masa. En la simulación se utilizaron 1000 estrellas, previamente formadas, originalmente embebidas en una nube de gas modelada por 10^6 partículas SPH. Las estrellas inicialmente representan solo el 10% de la masa del gas y todas tienen la misma masa inicial, de $0.5M_{\odot}$. Tanto las estrellas como el gas están inicialmente en reposo, distribuidos de forma Gaussiana, comprendidos en un radio ~ 1 pc, con una densidad estelar media de 250 estrellas pc^{-3} . A la simulación se la siguió durante un tiempo casi igual al tiempo de caída libre (t_{ff}), momento en el que las estrellas han acrecido $\sim 7\%$ de la masa del gas. Algunas de estas condiciones iniciales son típicas en cúmulos estelares jóvenes.

En un análisis detallado de la simulación se encuentra que la densidad estelar media⁸ y máxima⁹ al final de la simulación crecen dramáticamente, en especial la densidad estelar máxima, como se puede ver en panel izquierdo de la Figura 1.11. El resultado de esto es que la densidad estelar máxima, al final de la simulación es del orden 10^5 veces más grande que la densidad estelar media. De esta forma, si se adopta el valor típico de la densidad en los cúmulos observados, que es del orden de 10^3 estrellas/ pc^3 como la densidad estelar media, entonces la densidad estelar máxima será $\sim 10^8$ estrellas/ pc^3 , valor semejante al estimado en la Sección 1.4, que es suficiente para que ocurran colisiones durante la simulación.

En el panel derecho de la Figura 1.11 se grafica la evolución de la masa estelar media y máxima como función del tiempo. Al igual que las densidades, ambas masas crecen rápidamente hacia el final de la simulación. Se produce un incremento inicial en la masa estelar máxima producto del "merger" de dos estrellas en las primeras

⁸Definida como la densidad dentro de un radio con la mitad de la masa del cúmulo.

⁹Definida por el volumen mínimo requerido para contener 10 estrellas vecinas.

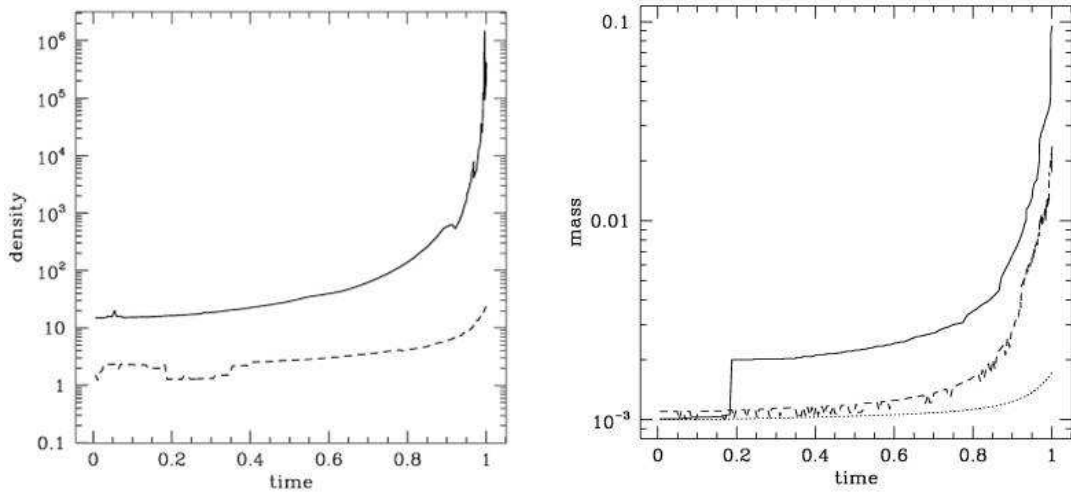


Figura 1.11: Panel izquierdo: Evolución de la densidad estelar media (línea de trazos) y máxima (línea continua) como una función del tiempo, en unidad del tiempo de caída libre (t_{ff}). Panel derecho: Evolución de la masa estelar media y máxima (línea de trazo y línea continua, respectivamente) como función del tiempo, en unidad de tiempo de caída libre. La masa está expresada en unidad de la masa estelar total inicial en el cúmulo. Figura adaptada del trabajo de Bonnell & Bate (2002).

etapas de la simulación. El último crecimiento en las masas estelares es causado por una combinación de la acreción del gas (crecimiento suave) y de los "mergers" (crecimiento discreto a saltos). El crecimiento inicial de las masas está dominado por la acreción, excepto al final de la simulación.

A lo largo de toda la simulación, ocurrieron 19 "mergers" o colisiones. Tres de estos sucedieron en las etapas tempranas de la simulación y evolucionaron hacia sistemas binarios aislados o sistemas triples. Dos de ellas continuaron con la acreción de material a lo largo de la simulación. Los 16 "merger" restantes tuvieron lugar en los núcleos de alta densidades de los cúmulos y han contribuido al crecimiento de las estrellas masivas. De hecho, cinco "mergers" han estado involucrados en la formación de la estrella más masiva de la simulación, contribuyendo considerablemente a la masa final de esta estrella. Por otro lado, son varias las estrellas que se someten a múltiples "mergers". En la Figura 1.12 se grafica la masa acumulada a través de las colisiones en función de la masa final para estrellas que han experimentado los eventos de "mergers". Bonnell & Bate (2002) explican que las estrellas más masivas generalmente acumulan la mitad de su masa final a través de colisiones, como se puede ver en la Figura 1.12. En tanto que la otra mitad es acumulada vía acreción.

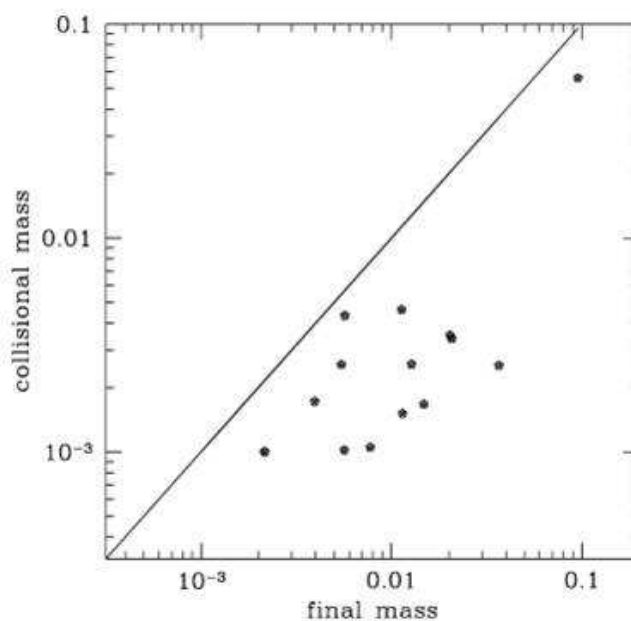


Figura 1.12: Masa acumulada mediante los "mergers" vs. la masa estelar final para 14 estrellas que han experimentado "mergers" o colisiones estelares. La masa colisional corresponde a la masa de la estrella menos masiva de las dos que colisionan. Las masas están expresadas en unidades de la masa estelar total inicial en el cúmulo. La línea sólida corresponde al caso en el que el 100 % de la masa estelar es acumulado a través de colisiones. Figura adaptada del trabajo de Bonnell & Bate (2002).

Al final de la simulación se formaron 16 estrellas con masas mayores a $5M_{\odot}$ y una de ellas alcanzó las $50M_{\odot}$.

Bonnell & Bate (2002) también afirman que los sistemas binarios juegan un papel crucial en el proceso de "mergers" estelares. Estos sistemas están constantemente formándose y, eventualmente, se encuentran forzados a fusionarse para formar estrellas más masivas. Los autores presentan varias situaciones para formar sistemas binarios, como también varias condiciones para que estos sistemas binarios se fusionen. En la simulación se formaron un número significativo de sistemas dobles con separaciones desde ~ 10 a 10^3 UA. La estrella más masiva se encuentra en un sistema binario con una separación de ~ 12 UA¹⁰.

¹⁰La frecuencia de binarias es muy elevada (casi del 100 %) para estrellas de alta masa. De modo que es muy significativo que el modelo de "mergers" pueda formar sistemas dobles.

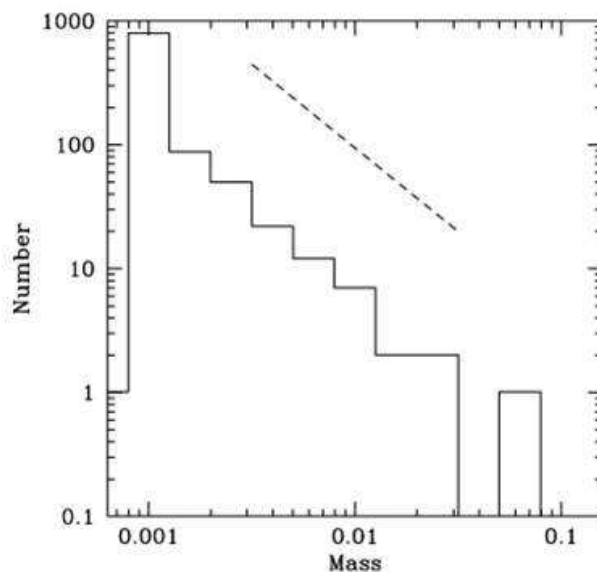


Figura 1.13: IMF resultante de la combinación de los eventos de acreción de gas y de los "mergers" estelares. La masa está expresada en unidades de la masa estelar total inicial en el cúmulo. Como comparación se indica con línea en trazos la pendiente de la IMF de Salpeter ($\gamma = -2,35$). Figura tomada del trabajo de Bonnell & Bate (2002).

Considerando que las estrellas masivas, al finalizar la simulación, fueron formadas como resultado de la combinación de la acreción del gas y los "mergers" estelares, Bonnell & Bate (2002) determinaron la IMF del cúmulo, que se muestra en la Figura 1.13. Sorprendentemente, esta IMF es bastante similar a la de Salpeter. Este resultado demuestra que el efecto de acreción, combinado con los "mergers", son capaces de reproducir el comportamiento de la IMF observada en el rango de estrellas de alta masa.

Ambas simulaciones (la presentada en esta Sección y aquella de las Secciones anteriores) muestran que es plausible formar estrellas con masa mayor a $15M_{\odot}$ sin tener problema con la enorme presión de radiación que presentan estas estrellas. Este es uno de los principales aspectos a favor del *Escenario de Fusión o "Merger"*. De todos modos, estas simulaciones concuerdan en que las estrellas masivas se forman combinando ambos procesos: acreción y "mergers" estelares. Sin embargo, este modelo de formación de estrellas de gran masa a través de las colisiones de proto-estrellas de baja masa no explica, en forma directa o simple, la presencia de discos circunestelares y flujos bipolares en estrellas masivas. En principio, el efecto de las colisiones podría destruir cualquier estructura de disco.

1.5. Escenario de Acreción Competitiva

En la sección anterior se mencionó el hecho de que la influencia del medio ambiente es también importante para la formación de las estrellas más masivas, ya que una porción significativa de sus masas pueden ser adquiridas por acreción (hasta un 50%), y el resto por colisiones o "mergers". Si la partícula se halla en una ubicación afortunada o preferencial, el medio ambiente puede significativamente contribuir al crecimiento de la estrella.

La capacidad de la protoestrella para crecer depende del tamaño de su dominio de acreción, definido como la región a partir del cual el gas puede ser acretado. La ubicación en el centro de un cúmulo protoestelar es beneficioso, ya que el flujo de material hacia el centro del cúmulo incrementa el reservorio de gas para una estrella individual. Cuando se trata de cúmulos más densos, la densidad del gas puede ser más grande en el centro, debido a que el gas se asienta en la parte más profunda del potencial del cúmulo. Este gas estará disponible para ser acretado para el crecimiento de la protoestrella masiva.

Sin embargo ya que el reservorio del gas es limitado (las nubes tienen una masa finita), las protoestrellas competirán eventualmente entre sí por el gas de la nube. Por esta razón, la acción del cúmulo para recoger material desde distancias grandes y enfocarlo o direccionarlo hacia las estrellas, combinada con el incremento del radio de acreción que poseen estas estrellas, hacen que la *Acreción Competitiva* sea un mecanismo muy potente (Zinnecker & Yorke 2007).

1.6. Comentarios Finales

En este Capítulo se ha presentado una descripción de los tres escenarios actuales para la formación de estrellas de gran masa. El escenario de *Acreción Amplificada* y el de *Fusión o "Merger"* podrían, hasta cierto punto, ser considerados conceptualmente diferentes, en tanto que aquél de la *Acreción Competitiva* resultaría de la combinación sucesiva de los otros dos.

Como se mencionó en las Secciones anteriores, existen argumentos en favor y en contra de los escenarios principales (Acreción Amplificada y Fusión). Así, por ejemplo, la presencia de discos y "jets" en estrellas de hasta $\sim 20 M_{\odot}$ (ver Tabla 1.1) pare-

cería favorecer al mecanismo de Acreción Amplificada. Por el contrario la existencia de discos implica una limitación para el modelo de Fusión, el cual sólo admitiría la formación de los mismos durante las fases finales, una vez finalizada la etapa de las colisiones entre embriones de baja masa. Inversamente, la presión de la radiación es un factor no considerado por el escenario de Acreción Amplificada, que, por el contrario, no presenta dificultad alguna para el escenario de Fusión.

Al momento actual existe un amplio debate en la literatura acerca de cuál es el mecanismo de formación de las estrellas de gran masa. En vista de lo discutido en el presente Capítulo, tal vez sería prudente argumentar que ambos mecanismos podrían ser válidos, prevaleciendo cada uno de ellos en un rango particular de masas. El escenario de Acreción Amplificada sería el mecanismo favorecido para la formación de estrellas de hasta $20M_{\odot}$, en tanto que el de Fusión sería el modo preferencial de formación para la estrellas con masas $> 20M_{\odot}$.

Capítulo 2

Evolución de las Estrellas de Gran Masa: Desde la Secuencia Principal a los Agujeros Negros

2.1. Introducción

En este Capítulo se presentará una descripción sintética de los principales aspectos de la evolución de las estrellas de gran masa, como una manera de resaltar la importancia que tienen este tipo de estrellas. Sin embargo, éste no pretende ser un análisis exhaustivo de las distintas etapas por las que atraviesan las estrellas de gran masa, sólo un resumen de los principales aspectos.

2.2. Secuencia Principal

Desde el momento en que una estrella de alta masa aparece en el Diagrama H-R (Hertzsprung-Russell), comienza a moverse de derecha a izquierda sobre una trayectoria prácticamente horizontal, conocida como trayectoria de Hayashi, hasta llegar a la Secuencia Principal de Edad Cero (ZAMS "Zero Age Main Sequence"). La Secuencia Principal (MS "Main Sequence") es la línea diagonal en el diagrama H-R formada por estrellas de varias masas que han alcanzado un estado de equilibrio hidrostático quemando hidrógeno en su interior¹.

¹En realidad la Secuencia Principal es una banda o región diagonal en el Diagrama H-R cuya envolvente superior corresponde a la ZAMS.

Las primeras estrellas en alcanzar este estado son las estrellas de alta masa; debido a su cantidad de materia que resulta en una rápida contracción hacia la Secuencia Principal. El tiempo empleado por una estrella en llegar a la ZAMS es inversamente proporcional a su masa. Así, por ejemplo, una estrella de $0.8M_{\odot}$ tarda 6.8×10^7 años en llegar a la ZAMS, en tanto que una estrella de $60M_{\odot}$ llega en sólo 2.8×10^4 años (Carrol & Ostile, 2007).

Las estrellas que consiguen llegar a la ZAMS permanecen la mayor parte de su vida activa sobre la Secuencia Principal, transformando su hidrógeno en helio, evolucionando de una forma mucho más lenta que en la etapa de Pre-Secuencia Principal. A pesar de que todas las estrellas de Secuencia Principal queman hidrógeno en su interior², existen importantes diferencias entre la evolución de estrellas masivas y estrellas de baja masa en esta etapa. Una de estas diferencias es el tiempo de permanencia en la Secuencia Principal. Mientras más masiva sea la estrella, más rápido va a consumir su combustible de hidrógeno, y por lo tanto, menos tiempo va a permanecer sobre ella. Por ejemplo, una estrella de $0.8M_{\odot}$ tiene un tiempo de vida en la Secuencia Principal de $\sim 2.5 \times 10^9$ años, mayor a la edad del Universo ($\sim 1.4 \times 10^9$ años), o sea que estas estrellas no han salido de la Secuencia Principal. Mientras que una estrella de $60M_{\odot}$ sólo se queda en la Secuencia Principal por un tiempo mucho más corto, tan sólo por $\sim 3 \times 10^6$ años.

2.3. Evolución de Post-Secuencia Principal

Cuando la estrella, por la acción de las reacciones termonucleares, ha agotado una fracción considerable de su masa de H (por ejemplo, para una estrella de $5M_{\odot}$, cuando ha consumido el 5% de su masa de H inicial) toda la estrella comienza a contraerse. La estrella sale de la Secuencia Principal moviéndose hacia la derecha sobre el diagrama H-R. La Figura 2.1 muestra los caminos evolutivos de Post-Secuencia Principal para estrellas con masas entre 0.25 y $15M_{\odot}$. Los círculos en blanco enumerados sobre los caminos evolutivo indican distintas fases evolutivas fácilmente distinguibles.

²Las estrellas de baja masa transforman H en He a través del conocido ciclo protoón-protón, en tanto que las estrellas de alta masa lo hacen, preferentemente, mediante el ciclo CNO o ciclo del carbono. Específicamente el límite de temperatura en el interior del núcleo estelar que determina el predominio de un ciclo con respecto al otro es de $\sim 1.6 \times 10^6$ K.

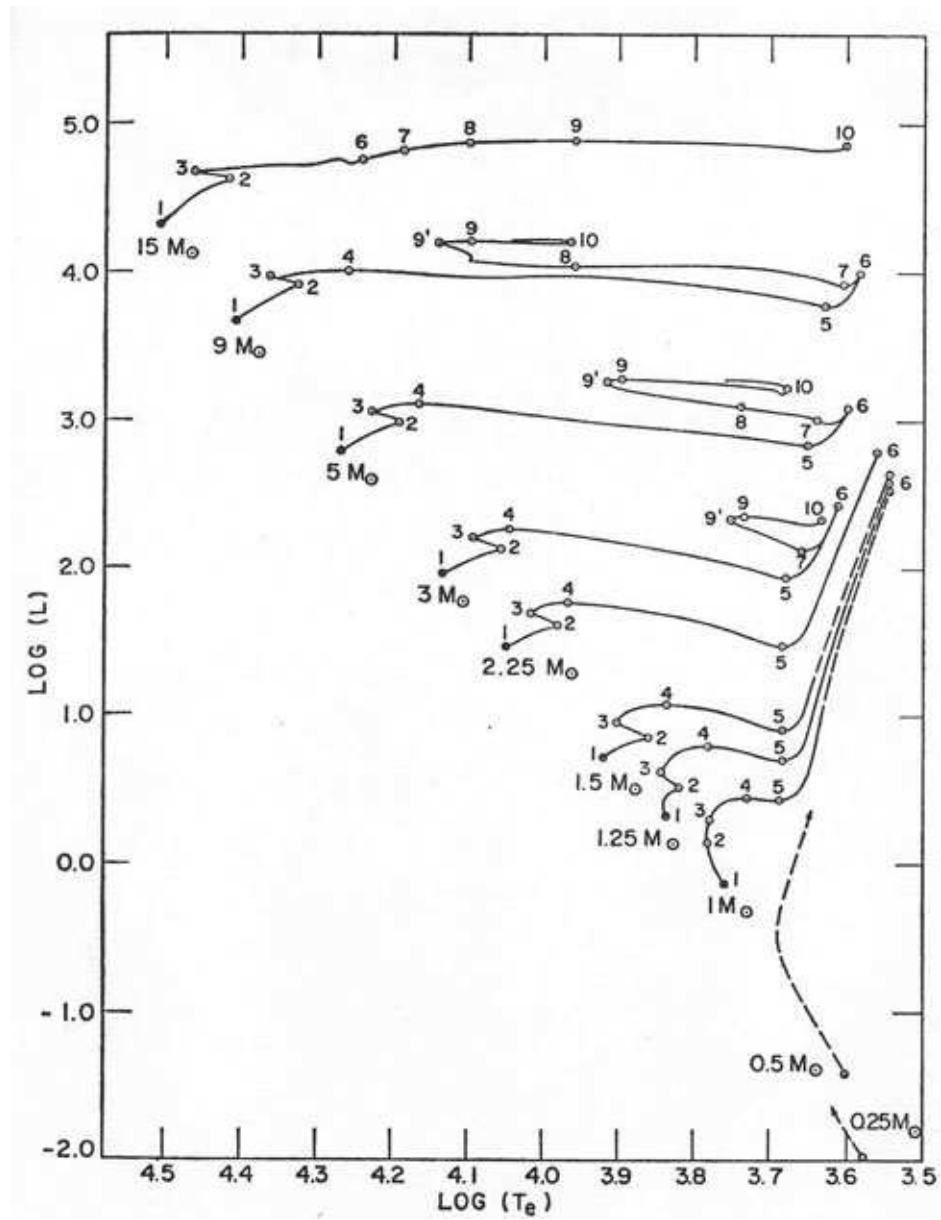


Figura 2.1: Caminos evolutivos en el diagrama H-R para estrellas con masas entre 0.25 y $15M_{\odot}$. Las luminosidad está expresada en unidades de la luminosidad solar, $L_{\odot} = 3,86 \times 10^{33}$ erg/seg, y la temperatura efectiva T_e en grados Kelvin. Figura tomada del trabajo de Iben (1964).

A continuación se describe la trayectoria evolutiva de una estrella de $15M_{\odot}$. La etapa entre los puntos 1 y 2 de la Figura 2.1 corresponde a la Secuencia Principal, durante la cual la estrella experimenta una contracción cuasi-estática y un calentamiento progresivo de su núcleo. Al llegar al punto 2, la estrella sufre una contracción total que continúa hasta el punto 3, en el cual la abundancia de H en el núcleo decae hasta un 1%. El aumento de la luminosidad entre los puntos 2-3 se debe a la liberación de energía gravitacional provocada por la contracción que se produce en la estrella.

Entre los puntos 3-6 suceden varios eventos, casi uno a continuación del otro. La estrella evoluciona con un núcleo que ha agotado su hidrógeno, conteniendo sólo átomos de helio inerte. Este núcleo continúa en contracción y comienza a enfriarse. La región de producción de energía se traslada ahora hacia una cáscara esférica que envuelve su núcleo. La producción de energía en esta región comienza a resultar explosiva, haciendo que las capas externas se expandan. La luminosidad en algunos casos decae, como en una estrella de $9M_{\odot}$, como resultado de la disminución de la tasa de producción de energía nuclear y expansión de las capas externas. En este trayecto la estrella se encuentra en una etapa de *Súper Gigante Roja*.

Cuando se llega al punto 7, la temperatura y densidad del núcleo son suficientemente elevadas como para que las partículas de helio empiecen a fusionarse y formar elementos más pesados como el carbono y oxígeno, que comienzan a acumularse en la parte más interna del núcleo. Esta fase de quemado de helio se la conoce como proceso triple alpha ($3\text{He} \rightarrow \text{C}^{12} + \text{O}$), que comienza de manera explosiva, deteniendo el colapso gravitacional y expandiendo al núcleo. Cerca del punto 9 la estrella está constituida por un núcleo de carbono en contracción y calentamiento, le sigue una capa esférica donde se producen las reacciones nucleares entre los átomos de helio, y luego, una segunda cáscara, región de mayor producción de energía de la estrella, dentro de la cual se fusionan los átomos de hidrógeno. Para esta estrella de $15M_{\odot}$, las condiciones internas en su núcleo son suficientes como para que comience el quemado del carbono y el oxígeno para formar elementos cada vez más pesados.

A medida que se va acabando el carbono va quedando un núcleo de neón y oxígeno, los cuales también se pueden quemar si las temperaturas y presiones son suficientemente altas. Según el núcleo continúe fusionando elementos cada vez más pesados, éstos se van acumulando en la parte más interna de la estrella dejando atrás una sucesión de capas concéntricas externas alrededor del núcleo, dando lugar a una es-

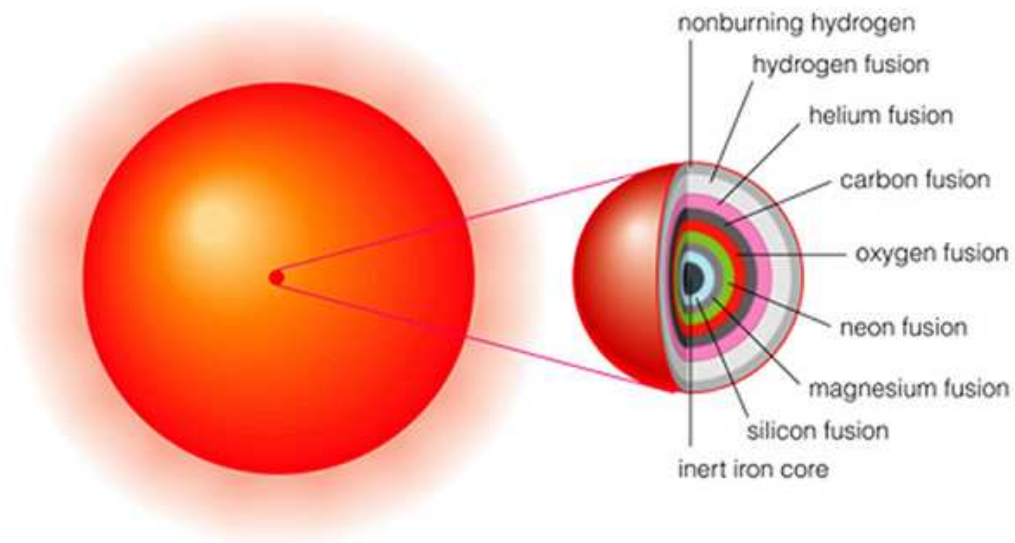


Figura 2.2: Representación esquemática de una estrella evolucionada de alta masa. En la región nuclear (ampliada) se indican diferentes capas concéntricas, en las cuales se producen elementos químicos cada vez más pesados, hacia el centro del propio núcleo, siendo el Fe el elemento más pesado que se produce en el interior de las estrellas masivas.

estructura en capas, similar a una cebolla. La Figura 2.2 muestra esta estructura, con diversas capas concéntricas en las que se acumulan elementos cada vez más pesados hacia el centro estelar. Las reacciones nucleares continúan en estas capas: Hidrógeno, Helio, Carbono, Neón, Oxígeno, Silicio. La fusión de Silicio produce Hierro, siendo éste el último elemento en producirse por reacciones nucleares (exotérmicas) en el interior de las estrellas de alta masa^{3,4}.

2.4. Etapas Finales de Estrellas con Masas mayores a $8M_{\odot}$

Lo que ocurre después que se terminan las reacciones termonucleares en el interior estelar también depende de la masa final del núcleo de la estrella. Si el núcleo remanente posee una masa mayor a $1.4 M_{\odot}$ (límite de Chandrasekhar), la estrella

³Para las estrellas de baja masa, el elemento químico más pesado que se produce en el núcleo es el C.

⁴Los elementos químicos más pesados que el Fe son producidos en los eventos de Supernova.

finalizará su vida como una estrella de neutrones⁵. En el caso en que la masa del núcleo, luego de la etapa de Súper Gigante Roja, supere las $4.3 M_{\odot}$, la estrella se transformará en un agujero negro.

2.4.1. Eventos de Súpernova

Las estrellas con masas superiores a $8M_{\odot}$, que han producido elementos pesados hasta el Fe en su interior, llegan a su fin de una forma espectacular. Al terminarse las reacciones termonucleares, teniendo el núcleo de la estrella una masa mayor a $1.4M_{\odot}$, se produce un colapso catastrófico, el cual alcanza prácticamente la velocidad de la luz, liberando una gran cantidad de energía. Esta enorme cantidad de energía liberada, genera una onda de choque que se mueve rápidamente hacia fuera soplando violentamente las partes externas de la estrella. En un lapso de tiempo muy corto, alcanza las partes externas de la estrella y provoca procesos nucleares generando elementos más pesados que el Fe, expulsándolos lejos de la estrella⁶.

La energía que se libera es tan grande que la luminosidad que la estrella alcanza puede competir con la luminosidad de la galaxia que la alberga. Este evento tan violento es lo que se conoce como *Supernova*. La explosión de una supernova es uno de los eventos más violentos en el Universo, que puede alcanzar $V = -18$ (más de 100 veces la luminosidad de la Luna Llena) en un período de tiempo muy corto.

Los eventos de supernovas no son muy frecuentes en nuestra Galaxia, sucede aproximadamente 1 cada 100 años en ella. Sin embargo, se han podido estudiar sus características fotométricas y espectrocópicas mediante observaciones de súpernovas en otras galaxias. Atendiendo a las características espectroscópicas se han podido diferenciar dos tipos de súpernovas:

1. Tipo I - no presentan líneas del hidrógeno.
2. Tipo II - con importantes líneas del hidrógeno.

A las supernovas de Tipo I, además, se las ha sub-dividido en tres categorías. Las de Tipo Ia, que poseen fuertes líneas del Si II en 615 nm, las de Tipo Ib con fuertes

⁵Si la masa del núcleo es menor que este límite, entonces la estrella se transformará en una enana blanca, siendo éste el fin esperado para las estrellas de baja masa.

⁶El colapso del núcleo de las súpernovas es el único proceso físico que libera la suficiente cantidad de energía para producir la fisión de los elementos más pesados que el Fe, tales como: Cu, Zn, Ni, Au, Ag, Hg. Desde el elemento 27 (Co) al 92 (U) de la Tabla Periódica.

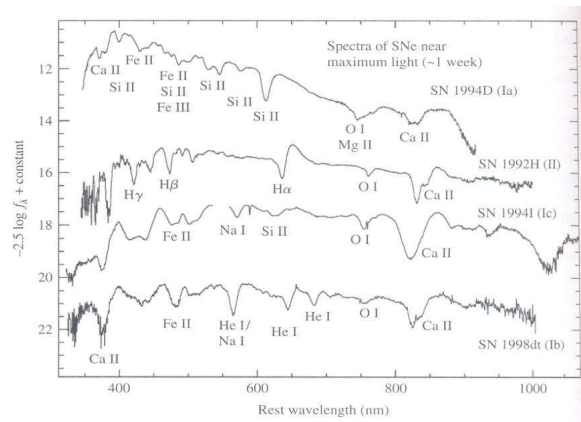


Figura 2.3: Espectros representativos de los cuatro tipos de súpernovas: Tipo Ia, Ib, Ic y Tipo II. Figura tomada de Carrol & Ostlie (2007).

líneas de He I y, por último, las de Tipo Ic sin líneas de He I. La Figura 2.3 muestra los espectros ópticos de los cuatro tipos de súpernovas descritos. La Figura 2.4 corresponde a la curva de luz de una súpernova de Tipo I.

Las súpernovas de Tipo II se dividen a su vez en dos grupos, Tipo II-P y Tipo II-L, según la forma de las curvas de luz. La Figura 2.5 muestra un ejemplo de cada tipo. Las de Tipo II-P presentan varios quiebres y una meseta entre los 30 y 80 días después del máximo, un último quiebre ocurre a los 200 días después del máximo, y posteriormente la luminosidad decae mucho más lentamente. Las de Tipo II-L, por el contrario, no presentan ningún tipo de meseta, su único quiebre ocurre casi a los 100 días del máximo. Las curvas de luz de las súpernovas de Tipo I son similares a las del Tipo II-L, con su único quiebre antes de los 50 días de alcanzado el máximo (comparar la Figura 2.4 con el lado derecho de la Figura 2.5).

Súpernova de Kepler

A manera de ejemplo de una súpernova se presentan las características principales de la súpernova de Kepler. Esta súpernova, ubicada en la constelación de Ophiuchus, fue la última en ser observada en nuestra Galaxia. Fue descubierta en 1604 por varios astrónomos, incluido el famoso astrónomo Johannes Kepler, cuando era mucho más brillante que las demás estrellas. Fue el propio Kepler, quien inspirado por los trabajos de Tycho en la súpernova de 1572, comenzó un estudio sistemático del fenómeno.

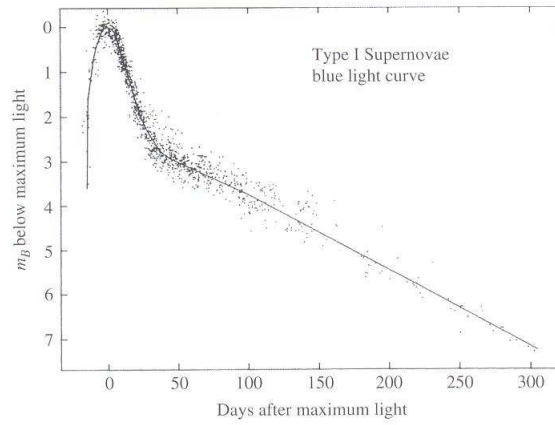


Figura 2.4: Curva de luz de una supernova de Tipo I. Figura tomada de Carrol & Ostlie (2007).

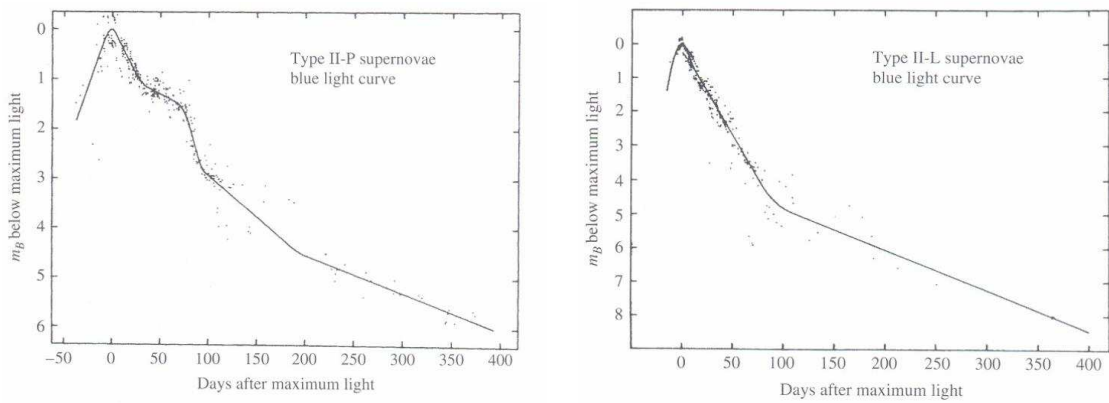


Figura 2.5: Curvas de luz de supernovas de Tipo II-P (panel derecho) y de Tipo II-L (panel izquierdo). Figura tomada de Carrol & Ostlie (2007).

Esta supernova, inicialmente fue tan brillante como el planeta Marte y superó luego a Júpiter por algunos días. De acuerdo a estudios hechos por Baade en 1943, el pico del brillo tal vez fue próximo a -2.25 en magnitud visual. En su reaparición en enero de 1605, Kepler encontró que todavía era más brillante que Antares, y permaneció visible hasta Marzo de 1606.

Actualmente existe una gran controversia en el tipo de supernova que es. Para algunos astrónomos, según su curva de luz, se trataría de una supernova de Tipo Ia. Mientras que para otros sería una de Tipo II (ver Blair 2004). Su distancia también no se la ha determinado con exactitud, sin embargo, se estima que debe estar a una distancia menor a los 6 Kpc.

En 1941, los astrónomos usando el telescopio Mt Wilson de 2.54m identificaron el remanente de la supernova de Kepler, una tenue nebulosidad en forma de abanico de casi $40''$ de extensión. Esta joven supernova ha sido catalogada también como 3C 358 por su emisión en radio y como G4.5+6.8 en el catálogo de SNR de David Green⁷.

Actualmente, se han tomado varias imágenes de la supernova de Kepler con distintos telescopios espaciales y en distintas longitudes de ondas, como es el caso de la Figura 2.6. En ella se presenta, en colores falsos, a la supernova que resulta de una combinación de las imágenes observadas en rayos X, en el óptico y en el infrarrojo, tomadas por los telescopios espaciales Chandra, Hubble y Spitzer, respectivamente (ver parte inferior de la Figura 2.6).

El color azul, emisión tomada por el telescopio espacial Chandra, corresponde a rayos X de alta energía (4-6 Kev) que provienen de las regiones que se encuentran directamente detrás de los frentes de choques. El color verde corresponden a rayos X de baja energía (0.3-1.4 Kev) y marcan la ubicación de los restos calientes de la estrella que explotó. El color amarillo, en la imagen óptica tomada por el telescopio espacial Hubble, revela un gas a 10^4 K donde la onda de choque de la súpernova está golpeando las regiones más densas del gas circundante. Finalmente, el color rojo, detectado por el telescopio espacial Spitzer, destaca el barrido y calentamiento de las partículas microscópicas de polvo por la onda de choque de la supernova (información obtenida del sitio web <http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler>).

⁷Disponible en el sitio web <http://www.mrao.cam.ac.uk/surveys/snrs/>.

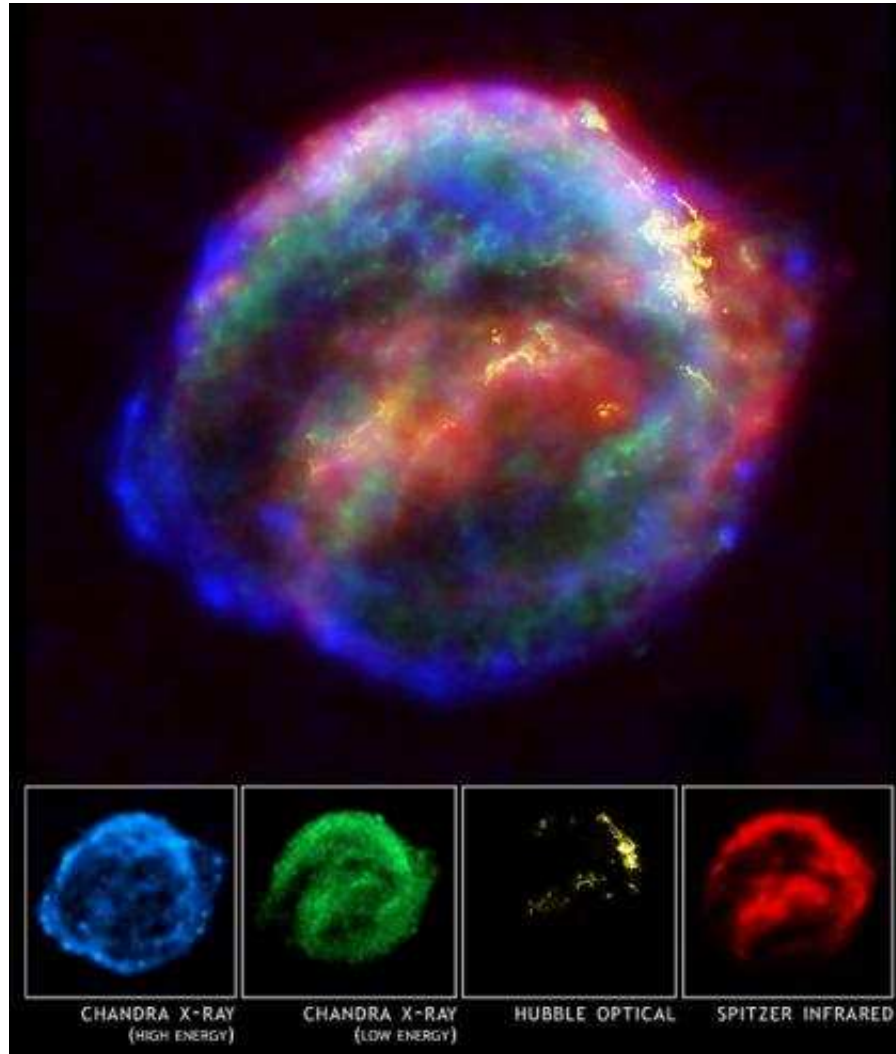


Figura 2.6: Imágenes del remanente de la supernova de Kepler, también conocida como SN1604, tomadas por distintos telescopios espaciales. Este objeto fue observado por primera vez hace más de 400 años, incluso por el famoso astrónomo Johannes Kepler. Figura tomada del sitio web <http://chandra.harvard.edu/photo/2004/kepler>.

2.4.2. Estrellas de Neutrones y Pulsares

Luego del evento de supernova, la enorme masa de núcleo remanente, y su forma violenta de colapsar hacen que, cuando se llegue al estado de un gas degenerado de electrones, la presión no sea suficiente como para detener dicho colapso. Cuando la densidad del núcleo excede los 10^{14-15} g/cm⁻³ se producen procesos nucleares en donde los protones se fusionan con los electrones para formar neutrones, con la producción de neutrinos como residuos (decaimiento beta inverso). Los neutrones también obedecen al principio de exclusión de Pauli (en donde dos fermiones no pueden estar en el mismo tiempo y en el mismo volumen con los mismos estados cuánticos). Por lo tanto, en los volúmenes pequeños que tienen para moverse, lo hacen a velocidades extremadamente grandes y se repelen para estar lo más separados posible.

Si el núcleo remanente de la estrella contiene una masa entre $1.4M_{\odot} < M < 4.3M_{\odot}$, como se dijo, la presión del gas degenerado de neutrones será suficiente para detener el colapso gravitacional. El núcleo de la estrella queda ahora convertido en una esfera compacta (de radio $R \sim 12$ Km) y densa de neutrones. Un objeto con estas características se lo conoce como *Estrella de Neutrones*. Son muy difíciles de observar, aún cuando su temperatura ronde los 10^6 K. A tan elevadas temperaturas superficiales, emiten principalmente radiación ultravioleta y rayos X, los cuales sólo pueden ser observadas fuera de la atmósfera terrestre.

A partir del 1967, se comenzaron a detectar en diferentes partes del cielo series de pulsos en radio, extremadamente breves, débiles y bastante periódicos (desde varios segundos a milésimas de segundos). La explicación que se daba a este fenómeno fue que estos pulsos, extraordinariamente periódicos, eran producidos por objetos compactos conocidos como *Pulsares*.

Para que esa emisión de los Pulsares sea detectada como pulsos muy cortos, y de períodos muy pequeños, era necesario que ellos tengan, en primer lugar, enormes velocidades de rotación. Además debían poseer un campo magnético muy intenso de forma que se pudiera explicar la emisión no térmica (emisión de sincrotrón) en longitudes de onda de radio, emitida generalmente a lo largo del eje magnético. Esta emisión sólo se produce cuando electrones libres se mueven en espirales en dichos campos. Por último, el eje del campo magnético no debía coincidir con el eje de rotación del objeto compacto, de esta forma la emisión continuaba barrería el espacio como si fuese un faro, como se puede ver en la Figura 2.7. Si un observador posee su

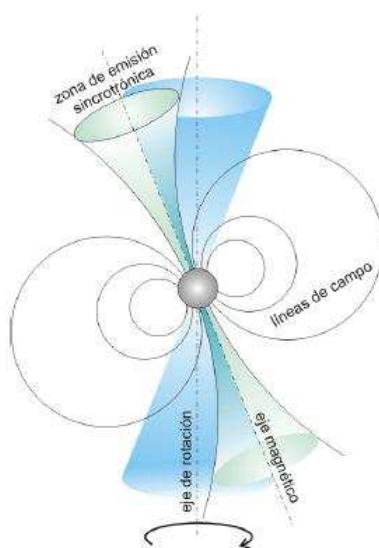


Figura 2.7: Representación esquemática de un pulsar. En color celeste se indica el cono que barre el eje magnético al no coincidir con el eje de rotación del objeto central.

línea de visión justo sobre la dirección de emisión del objeto vería un pulso de luz por cada rotación de la estrella.

Para que todo esto suceda, los pulsares tienen que ser objetos súper densos y, al mismo tiempo, ser muy pequeños. Cuerpos demasiados grandes y de baja densidad se desintegrarían fácilmente por la enorme fuerza centrífuga. Los únicos objetos que presentarían estas características, propias de un pulsar, serían las estrellas de neutrones magnéticas que giran a grandes velocidades.

2.4.3. Agujeros Negros

Después de la explosión de supernova, si la masa del remanente estelar es superior a los $4.3M_{\odot}$, la presión producida por el gas de degenerado de neutrones no puede detener la inmensa gravedad de la estrella colapsada. El colapso continúa indefinidamente, resultando triunfante la fuerza de gravedad sobre la estrella. Según la relatividad general, si un objeto estelar (sin rotación y de masa M) tiene un radio igual al radio de Schwarzschild (R_S) dado por:

$$R_S = \frac{2GM}{c^2}, \quad (2.1)$$

la velocidad de escape en la superficie de la estrella se vuelve igual a la velocidad de la luz. En ese momento se genera un horizonte del evento (región esférica de radio igual a R_S), dentro del cual nada puede escapar hacia fuera. Se dice, en este caso, que sobre el horizonte del evento la luz se congela en el tiempo. La superficie esférica con radio R_S actúa como una barrera e impide que se reciba información alguna del interior. Es por esta razón, que una estrella que halla colapsado dentro del radio de Schwarzschild es llamada *Agujero Negro*, encerrado en el horizonte del evento⁸. Por lo tanto el núcleo de una estrella que tenga una $M > 4.3M_\odot$, colapsará dentro del horizonte del evento hasta que toda la masa esté concentrada en un punto de densidad infinita, llamado singularidad.

El modelo de un agujero negro sin rotación tiene una estructura particularmente simple. En el centro está la singularidad, un punto de volumen cero y densidad infinita, donde está localizada toda la masa del agujero negro. Cubriendo la singularidad central está el horizonte del evento, de modo que la misma nunca podrá ser observada. La Figura 2.8 muestra un esquema de tal objeto.



Figura 2.8: Estructura interna de un agujero negro no rotante. Se indican su singularidad de densidad infinita envuelta por el horizonte del evento, el cual impide observar su interior.

Dado que los agujeros negros no son visibles directamente, solo podrían ser detectados de manera indirecta. Una posibilidad es que un agujero negro forme parte de un sistema binario, juntamente con una estrella normal. De esta forma, se podrá detectar la presencia de tal objeto a través de las diversas interacciones con su compañera visible. A continuación se presenta un ejemplo de estos sistemas dobles, muy particulares.

⁸Un objeto con estas características se "traga" todo lo que hay a su alrededor, no permitiendo que la luz escape, de ahí viene su nombre.

Cygnus X-1

Desde su descubrimiento, hace más de 45 años, Cygnus X-1 ha sido una de las fuentes de rayos X más estudiadas intensivamente. Casi una década después de su descubrimiento, Cygnus se ganó un lugar en la historia de la Astronomía cuando una combinación de observaciones en rayos X y en el óptico llevaron a la conclusión de que se trataba de un sistema binario compacto, donde una de las componentes era un agujero negro, el primero en ser identificado.

El sistema de Cygnus X-1, descubierto por Bowyer et al. (1965), consiste en un agujero negro de $10 M_{\odot}$ ligado gravitacionalmente a una estrella supergigante azul de tipo espectral O9.7 Iab, conocida como HDE 226868, con una masa de casi $20 M_{\odot}$. Se ha estimado que el sistema tiene un período de rotación de 5.6 días.

Las emisiones en rayos X, el corto período de rotación y demás características, han llevado a la noción de que se trata de un sistema binario cerrado, cuya separación entre ambos cuerpos es del orden de los radios de las componentes. La pequeña separación de los cuerpos hace que haya una transferencia de material de la estrella visible hacia el objeto compacto. El material que se precipita hacia el agujero negro comienza a girar alrededor del objeto a velocidades extremadamente altas, formando un disco de acreción. Estas grandes velocidades y la atracción que sufre el material por el objeto compacto serían los responsables de la emisión de radiación muy energética. La Figura 2.9 es una representación esquemática de este sistema.

2.5. Comentarios Finales

Como se mencionó en la Introducción, en este Capítulo se describieron sintéticamente las diferentes etapas evolutivas de las estrellas de gran masa a los fines de presentar un abordaje completo de este tipo de estrellas. Sin duda quedan muchos aspectos por considerar. Sin embargo, lo presentado en este Capítulo sirve para comprender el destacado rol que desempeñan las estrellas de alta masa.

En este Trabajo Especial se focalizará en la etapa de formación de las estrellas de gran masa, presentando un estudio infrarrojo de dos regiones particulares, recientemente descubierta. Se deja para un futuro el estudio de las etapas más avanzadas en la vida de las estrellas de gran masa.

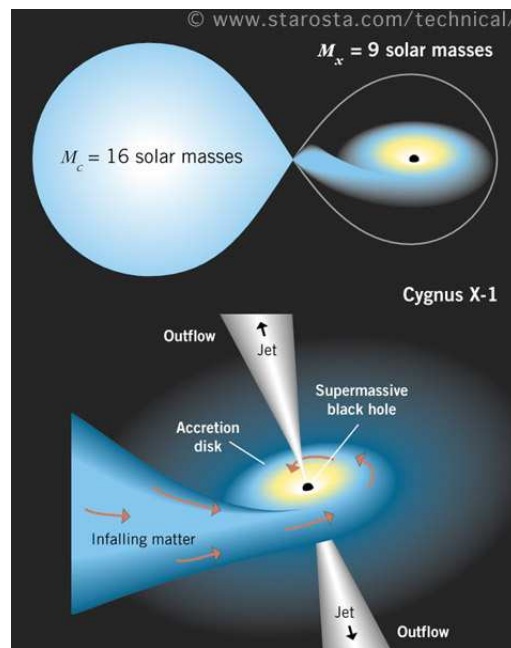


Figura 2.9: Representación esquemática del sistema Cygnus X-1.

Capítulo 3

IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916: Dos Regiones de Formación de Estrellas de Gran Masa

3.1. Introducción

En este Capítulo se presenta, en forma sintética, toda la información disponible en la literatura sobre las dos objetos (IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916) seleccionados para su análisis en este Trabajo Especial. Ambas regiones han sido detectadas en 1.2 mm por Beltrán et al. (2006) y asociadas con regiones de formación de estrellas de gran masa. Se describen, además, las observaciones disponibles (básicamente imágenes en los filtros Ks, H, J, B γ y H $_2$) obtenidas con el telescopio Baade, del Observatorio de Las Campanas, Chile.

3.1.1. IRAS 12272–6240

Las coordenadas de esta fuente obtenidas del catálogo IRAS (Infrared Astronomical Satellite¹) son: $\alpha = 12\text{h } 27\text{m } 14.0\text{s}$ y $\delta = -62^\circ 40' 22''$ (equinoccio 1950.0, época 1983.5). La correspondiente elipse de incerteza tiene ejes mayores (a) y menores (b) de $15''$ y $3''$, respectivamente, y un ángulo de posición (ϕ) de 135° . Los flujos en las cuatro bandas de IRAS (12, 25, 60 y $100 \mu\text{m}$), con sus respectivos errores por-

¹IRAS catalogue of Point Sources, Version 2.0 (IPAC 1986).

centuales, son listados en la Tabla 3.1. Esta fuente también ha sido detectada por el satélite MSX (Midcourse Space Experiment²) en las bandas A(8.28 μm), C(12.13 μm), D(14.65 μm) y E(21.3 μm). En realidad, en este catálogo³ se encuentran dos fuentes que caen dentro de la elipse de incerteza de IRAS. Estas fuentes son: MSX 1 ($\alpha = 12\text{h } 30\text{m } 3.22\text{s}$, $\delta = -62^\circ 57' 5.04''$ J2000) y MSX 2 ($\alpha = 12\text{h } 30\text{m } 4.1\text{s}$, $\delta = -62^\circ 56' 44.16''$ J2000). La Tabla 3.2 indica los flujos en cada una de las bandas de MSX.

Tabla 3.1: Flujos de la fuente IRAS 12272–6240

Fuente	F_{12}	ϵ_{12}	F_{25}	ϵ_{25}	F_{60}	ϵ_{60}	F_{100}	ϵ_{100}
	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]
IRAS	9.44	84.67	815.9	15.45	6	5	12	13

Tabla 3.2: Flujos de las fuentes MSX asociadas con IRAS 12272–6240

Fuente	F_A	ϵ_A	F_C	ϵ_C	F_D	ϵ_D	F_E	ϵ_E
	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]
MSX1	0.90	4.2	1.83	5.6	1.43	6.7	9.01	6.1
MSX2	2.03	4.1	4.46	5.1	6.59	6.1	34.1	6.0

Walsh et al. (1998) y Pestalozzi et al. (2005) detectaron en la zona de IRAS 12272–6240 emisiones de máser de metanol, usualmente considerados como indicadores de regiones de formación de estrellas de gran masa (ver Apéndice A.4.1). Recientemente, Breen et al. (2010) encontraron también un máser de agua en esta región.

3.1.2. IRAS 17149–3916

El catálogo IRAS proporciona las siguientes coordenadas para esta fuente: $\alpha = 17\text{h } 14\text{m } 56.4\text{s}$, $\delta = -39^\circ 16' 02''$ (equinoccio 1950.0, época 1983.5). La elipse de incerteza

²MSX fue un satélite con un pequeño telescopio a bordo de 35 cm de diámetro, que operó entre 1996 y 1997 en 4 bandas selectas entre 8 y 21 μm , observando regiones particulares del cielo.

³The Midcourse Space Experiment (MSXC6).

presenta los siguientes parámetros a (semi-eje mayor) = $41''$, b (semi-eje menor) = $5''$ y ángulo de posición (ϕ) de 97° . Los flujos en la cuatro banda de IRAS y sus respectivos errores porcentuales son indicados en la Tabla 3.3. La fuente MSX asociada tiene coordenadas $\alpha = 17\text{h } 18\text{m } 25.20\text{s}$ y $\delta = -39^\circ 19' 19.92''$ J2000. Los correspondientes flujos en las bandas de MSX son listados en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3: Flujos de la fuente IRAS 17149–3916

Fuente	F_{12}	ϵ_{12}	F_{25}	ϵ_{25}	F_{60}	ϵ_{60}	F_{100}	ϵ_{100}
	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]
IRAS	208.7	987.7	6765.0	9155.0	7	6	17	23

Tabla 3.4: Flujos de la fuente MSX asociada con IRAS 17149–3916

Fuente	F_A	ϵ_A	F_C	ϵ_C	F_D	ϵ_D	F_E	ϵ_E
	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]	[Jy]	[%]
MSX	18.58	55.23	67.84	179.0	4.1	5.0	6.1	6.0

Walsh et al. (1997) y Pestalozzi et al. (2005) detectaron máseres de metanol en esta región. Dutra et al. (2003), empleando datos de 2MASS, detectaron un cúmulo infrarrojo ([DBS2003] 118; $\alpha = 17\text{ h } 45\text{m } 57\text{s}$, $\delta = -39^\circ 15.9'$ J2000), con dimensiones angulares de $1.7'$ y $1.5'$, eje mayor y menor respectivamente.

3.1.3. Propiedades de las Regiones en 1.2 mm

Beltrán et al. (2006), empleando observaciones obtenidas con la antena SEST⁴ del Observatorio de La Silla (Chile), realizaron un estudio en longitudes de onda milimétricas (1.2 mm) de un total de 235 fuentes previamente detectadas por el satélite IRAS, con $\delta < 30^\circ$, candidatas a ser núcleos pre-estelares donde, eventualmente (se espera) se formen nuevas estrellas. En particular estos autores estudiaron la emisión del polvo en 1.2 mm, detectando que la gran mayoría de estos núcleos (todos, menos 8) poseen masas grandes y centros múltiples de condensación. Para una temperatura

⁴La antena SEST (Swedish-ESO Submillimeter Telescope) de 15 m de diámetro dejó de operar en el año 2006.

del polvo $T_d = 30$ K, un núcleo promedio posee dimensiones lineales de ~ 0.4 pc, una masa de $\sim 120 M_\odot$ y densidades columnares (n_{H_2}) y superficiales (ρ_{H_2}) del hidrógeno molecular de $4 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ y 0.14 g cm^{-2} , respectivamente. El valor de la relación masa-luminosidad para un núcleo promedio es de $99 L_\odot/M_\odot$, confirmando que, en general, se trata de objetos de masas grandes.

Como se mencionó en la Introducción de este capítulo, para el presente Trabajo Especial se seleccionaron dos regiones del trabajo de Beltrán et al. (2006): IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916. La Figura 3.1 muestra los mapas de contorno en 1.2 mm para cada una de las fuentes, superpuestos sobre las imágenes en $21 \mu\text{m}$ (filtro E) obtenidas por el satélite MSX, publicadas por estos autores. La Tabla 3.5, también obtenidas del trabajo de Beltrán et al. (2006), resume las principales propiedades de cada una de las regiones. Las columnas 2 y 3 listan las distancias cinemática (d^c) más cercanas y lejanas, respectivamente; la columna 4 indica la luminosidad y la columna 5 la masa total estimada que corresponde a la emisión detectada en 1.2 mm, que yace dentro de un radio de $90''$ de la posición de la correspondiente fuente IRAS. La Tabla 3.6, extraída del mismo trabajo, indica los núcleos o condensaciones asociadas con cada fuente IRAS, los desplazamientos "offsets" con relación a la posición central de la fuente, el tamaño angular y lineal de cada uno de ellos (columnas 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente). La columna 7 lista la densidad de flujo en 1.2 mm, la 8 la masa y la 9 la densidad de cada núcleo.

Tabla 3.5: Propiedades de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916

Fuente	d_{cercana}^c [Kpc]	d_{lejana}^c [Kpc]	L^{bol} [$\times 10^3 L_\odot$]	M [M_\odot]
IRAS 12272–6240	11.2	11.2	345	6880
IRAS 17149–3916	2.1	—	93.7	586

Nota: Esta tabla ha sido adaptada de la Tabla 1 del trabajo de Beltrán et al. (2006).

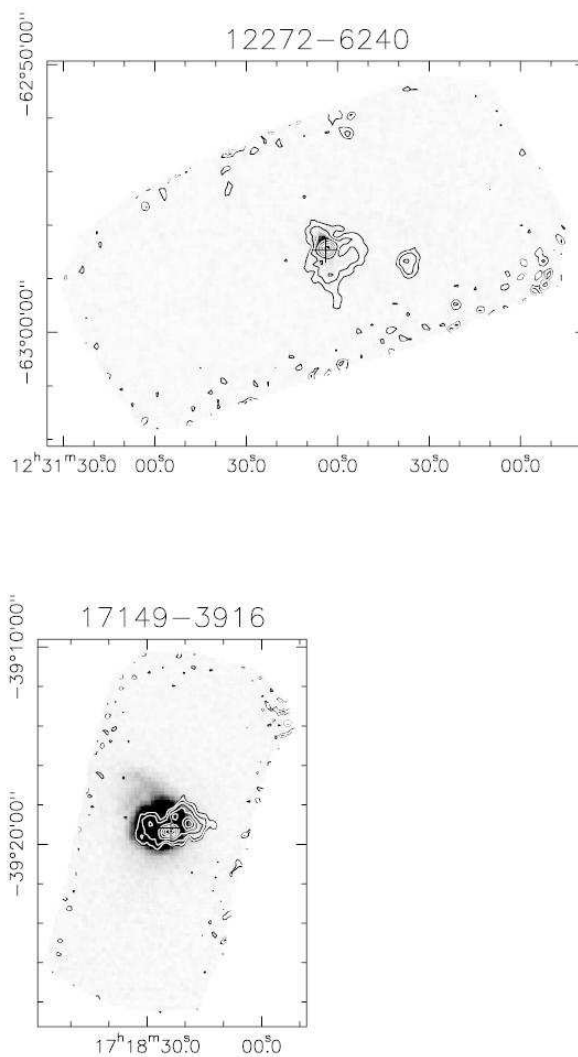


Figura 3.1: Mapa de contornos de la emisión en 1.2 mm observados con el instrumento SIMBA ("SEST Imaging Bolometer Array") de la antena SEST, superpuestos sobre las imágenes en 21 μm (filtro E) obtenidas por el satélite MSX. Los sucesivos contornos corresponden a 3σ , 6σ , y desde 6σ al máximo de la emisión integrada, en pasos de 6σ , donde σ es el ruido rms de cada mapa. Las coordenadas ecuatoriales corresponden a la época J2000. La cruz indica la posición de la correspondiente fuente IRAS. El ruido en los bordes de las imágenes de SIMBA son visibles en los mapas de contorno de cada fuente. Figura adaptada de la Figura 2 del trabajo de Beltrán et al. (2006).

Tabla 3.6: Propiedades milimétricas de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916

Fuente	Núcleo	Δx ["]	Δy ["]	θ ["]	D [pc]	S_ν [Jy]	M_N [M_\odot]	n_{H_2} [$\times 10^4 \text{ cm}^{-3}$]
IRAS 12272–6240	1	0.00	0.00	50.5	2.75	3.89	4070	0.8
	2	–176	–24.0	18.2	0.99	0.74	948	3.3
	3	–8.00	–56.0	51.5	2.80	1.49	1910	0.3
IRAS 17149–3916	1	0.00	–8.00	33.8	0.35	4.34	198	16.0
	2	–56.0	16.0	42.5	0.44	3.94	180	7.3
	3	–16.0	32.0	31.4	0.32	2.18	100	10.0
	4	64.0	8.00	43.9	0.45	2.37	108	4.0

Nota: Esta tabla ha sido adaptada de la Tabla 2 del trabajo de Beltrán et al. (2006).

3.2. Observaciones en el Infrarrojo Cercano

3.2.1. Datos Observacionales

Las observaciones fueron realizadas con el telescopio Baade, uno de los dos telescopios gemelos Magallanes de 6.5m, del Observatorio de Las Campanas, Chile. El instrumento utilizado fue la cámara infrarroja PANIC ("Persson's Auxiliary Nasmyth Infrared Camera"), la cual colocada en el foco Nasmyth (f/11) produce un campo de $2' \times 2'$ sobre un detector Hawaii de HgCdTe de 1024×1024 pixeles, fabricado por Rockwell. El tamaño del pixel para esta configuración es de $0.125''$. Se utilizaron tres filtros de banda ancha Ks, H y J y dos de banda angosta H_2 y $B\gamma$. La Tabla 3.7 indica las principales características de los mismos.

Tabla 3.7: Características de los Filtros

Filtro	$\lambda(\text{central})$ [μm]	Ancho de Banda [μm]
Ks	2.16	0.33
H	1.65	0.30
J	1.25	0.25
H_2	2.125	0.024
$B\gamma$	2.165	0.022

La fuente IRAS 12272–6240 fue observada durante la noche del 12 de junio de 2009 y la fuente IRAS 17149–3916 el 10 de junio del mismo año. Para cada uno de los objetos se tomaron 9 imágenes en cada filtro ligeramente desplazadas en 6" ("dithered images"). Para IRAS 12272–6240 los tiempos de integración de cada imagen individual fueron de 20, 30, 60, 60 y 60 segundos, para los filtros Ks, H, J, H₂ y B_γ, respectivamente. En el caso de IRAS 17149–3916, se repitieron los tiempos indicados, excepto para el filtro H en el cual se emplearon 40 segundos para cada una de las 9 imágenes.

3.2.2. Corrección por "Flatfield" y Cielo

Se emplearon procedimientos estándar para la corrección por "flatfield" y la sustracción del cielo. Sintéticamente, para cada filtro se construyó una imagen de "flatfield" promediando un conjunto de 10 imágenes individuales, obtenidas según el esquema "lamp-on" – "lamp-off", es decir, con la lámpara alternadamente encendida y apagada a fin de descontar la contribución térmica del medio ambiente. El "flat" promedio fue normalizado para aplicar la mencionada corrección a cada imagen. Cada imagen fue dividida por el "flat" normalizado. La imagen de cielo, en cada filtro, fue construida combinando las 9 imágenes individuales tomadas para cada objeto. Este cielo "promedio" fue sustraído de cada imagen individual. Notar que se combinaron imágenes tomadas durante un intervalo de tiempo relativamente breve (10-15 minutos) y de la misma zona del cielo ($\sim 2.1' \times 2.1'$) a fin de obtener un "promedio" representativo tanto de las variaciones temporales como espaciales del cielo durante la obtención de las observaciones⁵.

3.2.3. Calibración Fotométrica: Obtención del Punto Cero de Magnitud en las Bandas Ks, H y J

Se observaron alrededor de 5 estrellas estándar por noche elegidas de la lista de estrellas estándar en el infrarrojo cercano de Persson et al. (1998). Estas imágenes fueron obtenidas y corregidas tanto por "flatfield" como por "cielo" de manera análoga a las imágenes de las dos fuentes IRAS observadas. La Tabla 3.8 indica los puntos ceros en magnitud para cada uno de los filtros de banda ancha y para cada noche de observación.

⁵Notar que la sustracción de la imagen del cielo corrige, además, por cualquier nivel de oscuridad ("dark") presente en las imágenes analizadas.

Tabla 3.8: Puntos Ceros en Magnitud para cada Filtro

Noche	Z _p (Ks)	Z _p (H)	Z _p (J)
10/06/09	24.31	24.73	24.92
12/06/09	24.33	24.80	24.99

3.2.4. Imágenes Combinadas en el Infrarrojo Cercano de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916

La Figura 3.2 muestra una combinación en colores falsos de las imágenes en los filtros Ks(rojo), H(verde) y J(azul) de la fuente IRAS 12272–6240⁶. La Figura 3.3, correspondiente a la misma fuente, superpone las imágenes individuales en los filtros H₂ (rojo), B γ (verde) y Ks (azul). Las Figuras 3.4 y 3.5 son las análogas para la fuente IRAS 17149–3916. En todos los casos el campo es de $\sim 2' \times 2'$. El Norte está orientado hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

Como referencia de la calidad de las imágenes presentadas en este trabajo, las Figuras 3.6 y 3.7 muestran las imágenes en colores falsos de ambas regiones confeccionadas con los datos de 2MASS. En este caso, se muestra un campo algo mayor ($\sim 3' \times 3'$) que el de las Figuras 3.2 y 3.4 a fin de poder identificar mejor la región de interés. Notar el incremento de estrellas en las imágenes de Baade con relación al 2MASS y la mayor resolución de las primeras con relación a las segundas⁷.

IRAS 12272–6240 muestra una nebulosidad asociada, visible principalmente en la imagen en K (Figura 3.2, color rojo). También en la misma figura pueda observarse una ligera concentración de fuentes (cúmulo) hacia el centro de la imagen. Esta concentración resulta más evidente en la Figura 3.3. Notar la presencia de la nebulosa en color verde (B γ) y de una emisión en color rojo (H₂) alrededor de un objeto localizado cerca del centro de la imagen.

IRAS 17149–3916 en la Figura 3.4 parecería mostrar una leve concentración de

⁶Para la combinación de las tres imágenes individuales se utilizó la facilidad ofrecida por el "software" SAOimages ds9, muy utilizado para la visualización de imágenes astronómicas.

⁷En el Apéndice C se presentan un análisis detallado de ambas regiones basado, exclusivamente, en los datos de 2MASS. En los Capítulos 4 y 5 del presente Trabajo Especial se comparan los datos obtenidos con el telescopio Baade con los de 2MASS para ambas regiones.

fuentes en el centro del campo. Se evidencia, además, una nebulosidad de color violeta, combinación de los tres filtros (Ks rojo, H verde, J azul). En la Figura 3.5 puede notarse la misma concentración de estrellas hacia el centro que en la Figura 3.4. Además en esta figura (Figura 3.5) resulta más evidente la presencia de nebulosidades en color verde, donde predomina la emisión en $B\gamma$. Sin embargo, estas nebulosidades también están presentes en los otros dos filtros (H_2 rojo y Ks azul). Finalmente puede verse la existencia de un objeto puntual de color rojo (H_2), el cual podría estar asociado con un objeto HH.

Finalmente, las Figuras 3.8 y 3.9 corresponden a las imágenes ópticas de ambas regiones tomadas del "Digitize Sky Survey (DSS^{8,9}.) Estas imágenes abarcan un campo de $3' \times 3'$ y se las incluyen a los efectos de mostrar la capacidad del infrarrojo cercano para penetrar regiones ópticamente oscurecidas. Comparar, por ejemplo, las Figuras 3.2 y 3.4 con las Figuras 3.8 y 3.9.

⁸El DSS comprende todas las placas fotográficas tomadas con el telescopio de Palomar y el telescopio Schmidt de Gran Bretaña.

⁹Disponible en el sitio web: <http://archive.eso.org/dss/dss>.

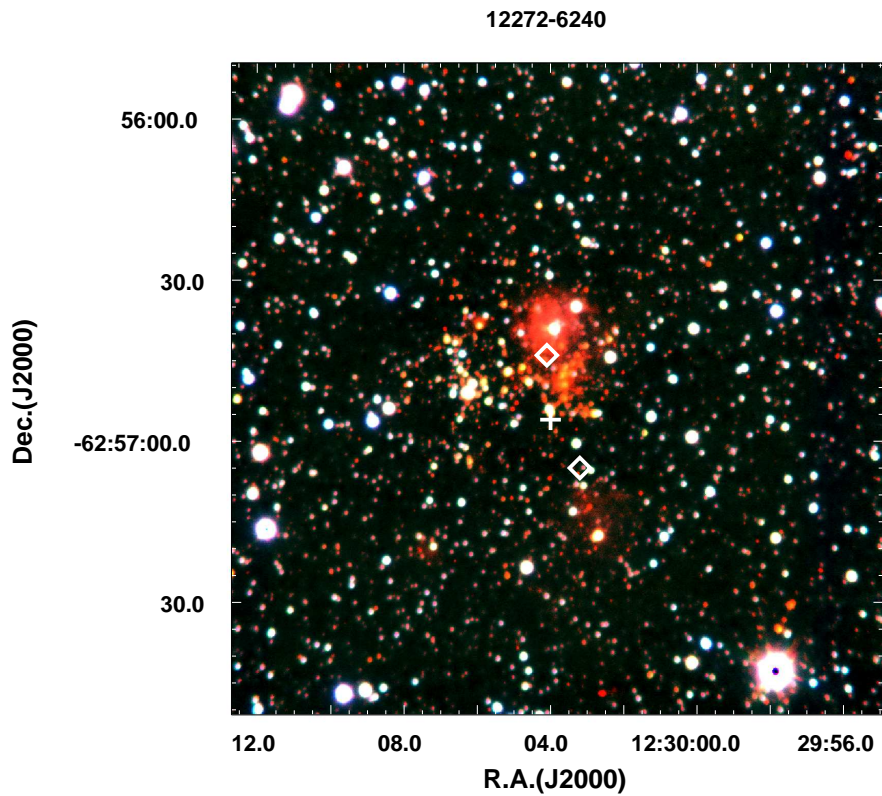


Figura 3.2: Imagen en colores falsos en los filtros Ks (rojo), H(verde) y J(azul) de la fuente IRAS 12272–6240, tomada con la cámara PANIC del telescopio Baade (Observatorio de Las Campanas, Chile). La cruz indica la posición de la fuente IRAS. Los rombos corresponden a máseres de metanol en la región (Walsh et al. 1998, Pestalozzi et al. 2005).

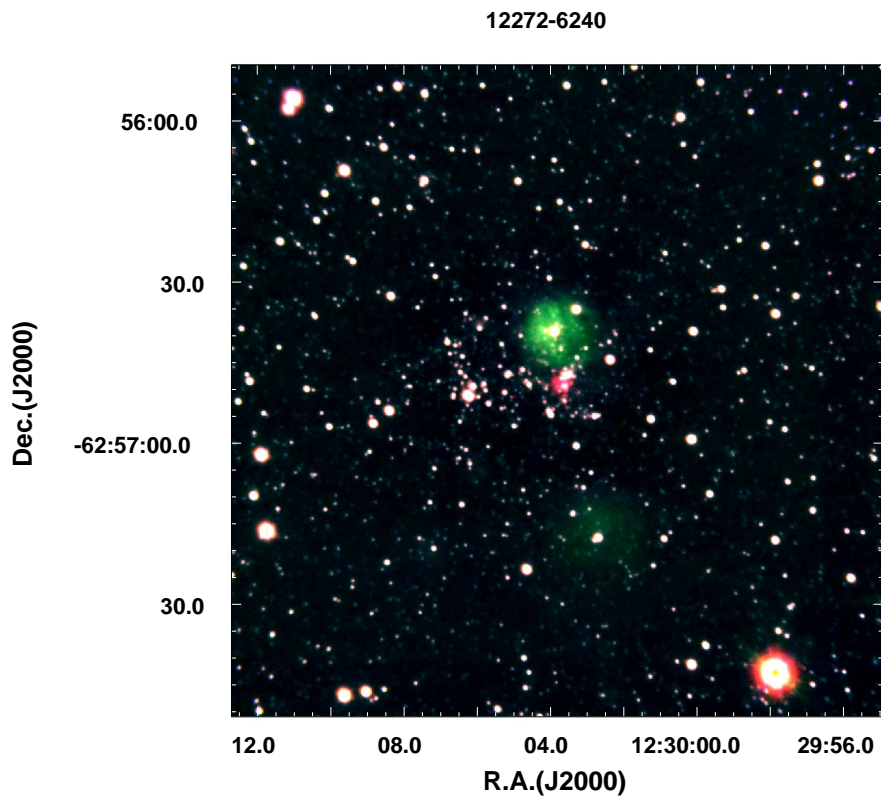


Figura 3.3: Imagen en colores falsos en los filtros H_2 (rojo), $B\gamma$ (verde) y Ks (azul) de la fuente IRAS 12272–6240, tomada con la cámara PANIC del telescopio Baade (Observatorio de Las Campanas, Chile).

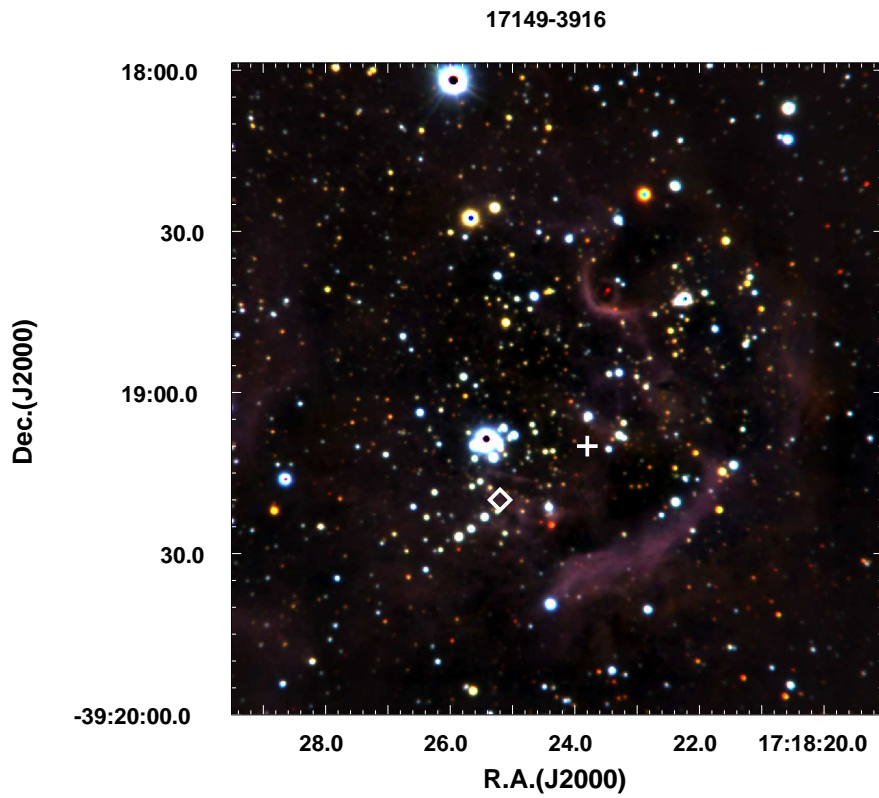


Figura 3.4: Imagen en colores falsos en los filtros Ks (rojo), H (verde) y J (azul) de la fuente IRAS 17149–3916, tomada con la cámara PANIC del telescopio Baade (Observatorio de Las Campanas, Chile). La cruz indica la posición de la fuente IRAS. El rombo indica la posición de un máser de metanol en la región (Walsh et al. 1997, Pestalozzi et al. 2005).

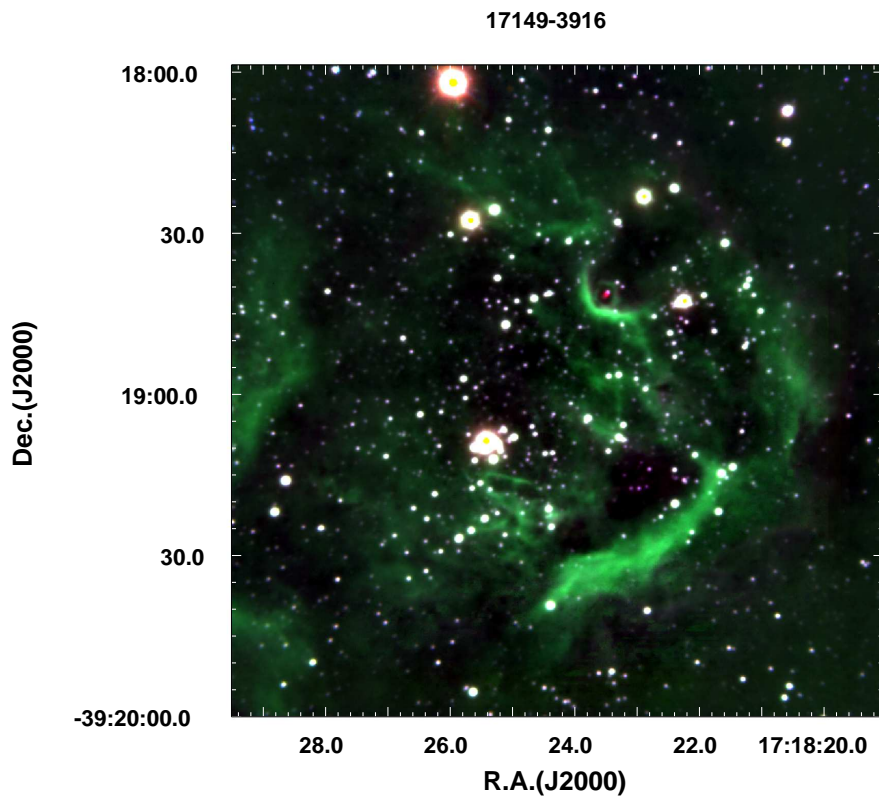


Figura 3.5: Imagen en colores falsos en los filtros H_2 (rojo), $B\gamma$ (verde) y Ks (azul) de la fuente IRAS 17149–3916, tomada con la cámara PANIC del telescopio Baade (Observatorio de Las Campanas, Chile).

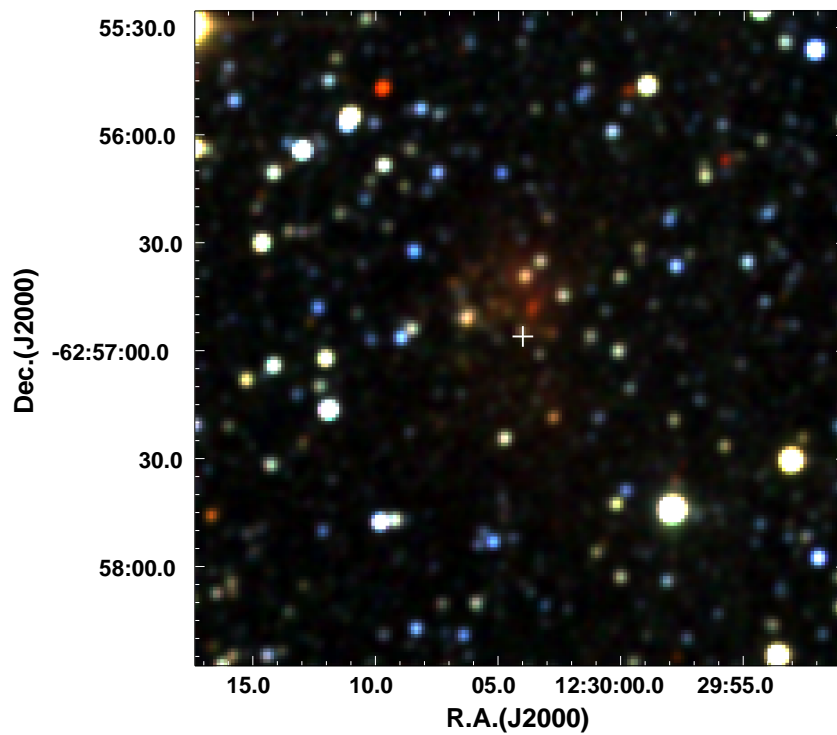


Figura 3.6: Imagen en colores falsos en los filtros Ks (rojo), H (verde) y J (azul) de la fuente IRAS 12272–6240, construída con las imágenes de 2MASS.

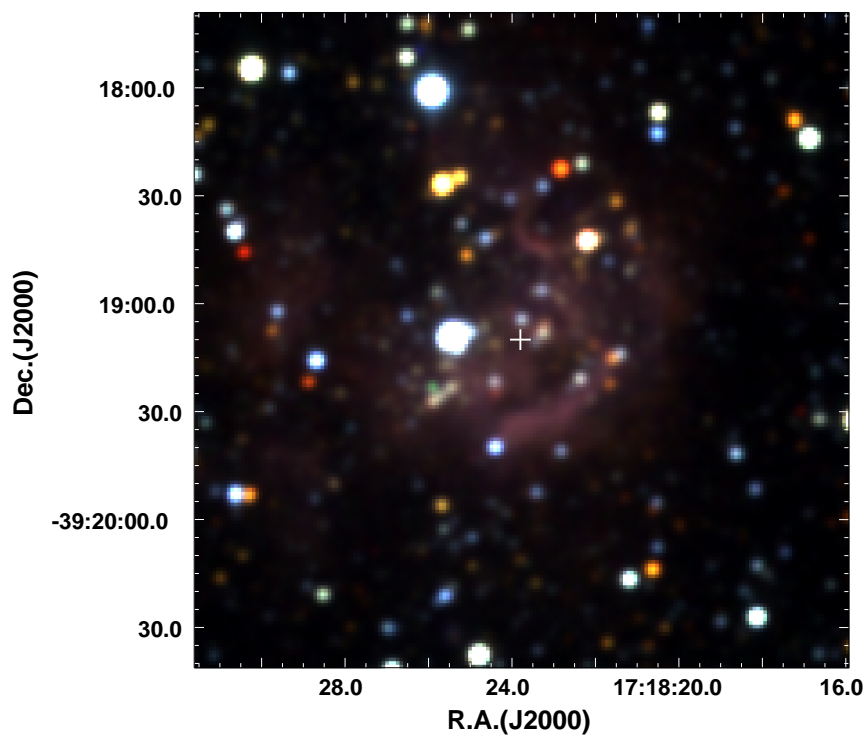


Figura 3.7: Imagen en colores falsos en los filtros Ks (rojo), H (verde) y J (azul) de la fuente IRAS 17149–3916, construída con las imágenes de 2MASS.

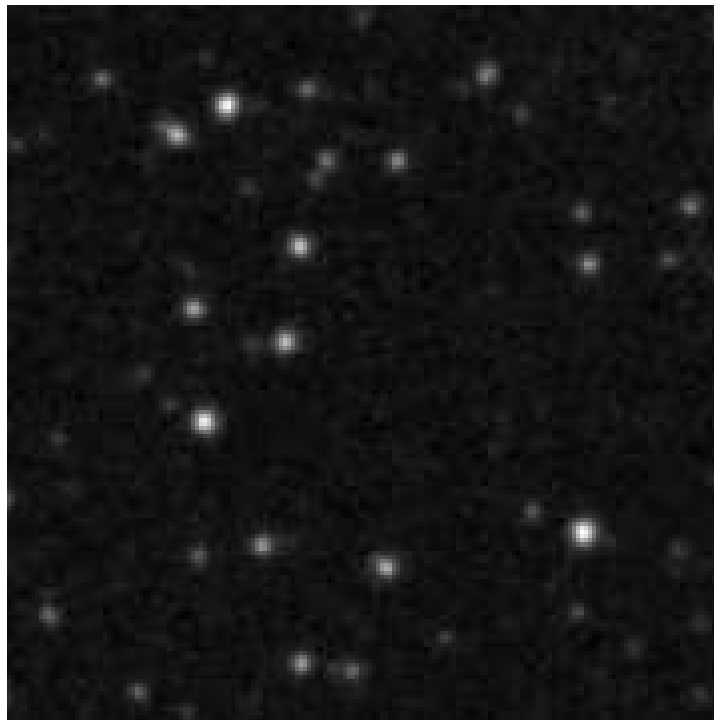


Figura 3.8: Imagen del "Digitize Sky Survey" para IRAS 12272–6240. En particular se emplearon las placas del POSS2/UK Red. Estas imágenes abarcan un campo de $3' \times 3'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

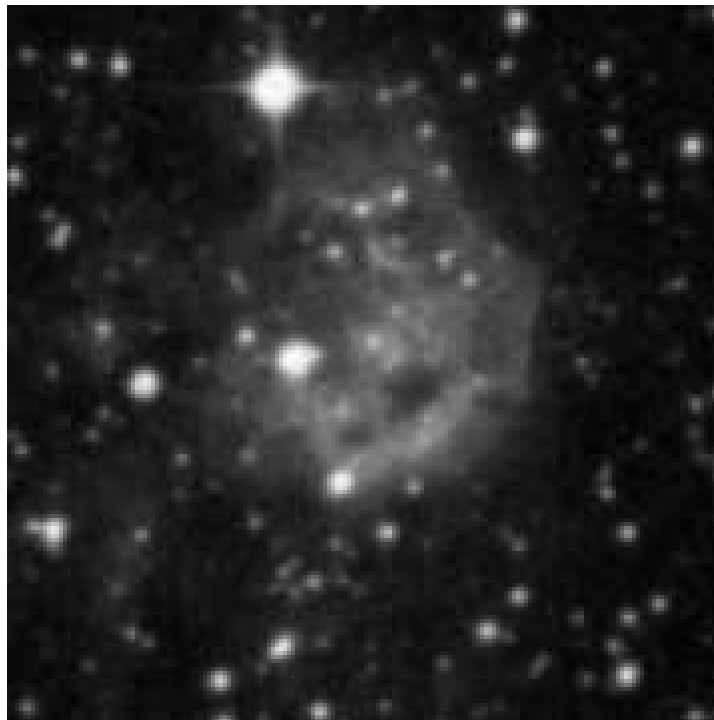


Figura 3.9: Imagen del "Digitize Sky Survey" para IRAS 17149–3916. En particular se emplearon las placas del POSS2/UK Red. Estas imágenes abarcan un campo de $3' \times 3'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda.

Capítulo 4

Fotometría Infrarroja de IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916

4.1. Fotometría de Apertura en Banda Ancha

Para la determinación de las magnitudes J, H y Ks de las fuentes en ambas regiones se utilizó el programa o "software" IRAF ("Image Reduction and Analysis Facility"¹), el cual consiste en una extensa colección de tareas ("tasks") o subrutinas en lenguaje C++, especialmente diseñadas para la reducción y el análisis de una amplia variedad de imágenes astronómicas. En particular, IRAF proporciona herramientas adecuadas para el procesamiento de datos obtenidos con detectores bi-dimensionales o de imágenes. En este Capítulo se describe, sintéticamente, el procedimiento empleado para la obtención de la llamada *Fotometría de Apertura* de todas las fuentes u objetos astronómicos detectados en las dos regiones en estudio.

4.1.1. Búsqueda y Detección de las Fuentes en la Banda Ks

La primera tarea a realizar es la determinación de las coordenadas x e y , es decir de las coordenadas sobre el detector, en "píxeles", de cada una de las fuentes cuyas magnitudes se desea medir. La tarea *DAOFIND* en el paquete *NOAO.DIGI.APPHOT* permite realizar esta determinación. La Tabla 4.1 indica los valores de los parámetros empleados por la tarea *DAOFIND* para ubicar la posición de cada uno de los objetos de interés. "FWHM Full Width Half Maximun" indica el tamaño de la imagen, en

¹IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) under cooperative agreement with the National Science Foundation.

este caso, en unidades de "píxeles". "Std dev" corresponde a la desviación standard del nivel de fondo del cielo, en unidades arbitrarias de intensidad. "Min good signal", es el nivel mínimo de intensidad que corresponde a un objeto, también en unidades arbitrarias. Toda señal que quede por debajo de este nivel no es considerada como objeto de interés. Finalmente el parámetro "threshold" (umbral), medido en unidades del valor de la desviación standard, indica el umbral para la detección de los objetos.

Tabla 4.1: Valores de los Parámetros usados con la Tarea *DAOFIND* para la Identificación de las Fuentes

Parámetro \ Fuentes	IRAS 12272–6240	IRAS 17149–3916
"FWHM" [pixel]	6	5
"Std dev"	22.0	40.0
"Min good signal"	150.0	400.0
"Threshold"	4.0	4.0

Para la determinación del "FWHM" (que da el tamaño de la imagen a la mitad de su intensidad de pico), se empleó la tarea *IMEXAMINE* dentro del paquete *IMAGE.TV*. La Figura 4.1 muestra el perfil de brillo para una de las imágenes estelares. Se estima un "FWHM" de 5 píxeles o $\sim 0.6''$, ya que el tamaño del pixel para la cámara PANIC en el telescopio Baade es de $0.125''$ (ver Capítulo 3).

Si bien la tarea *DAOFIND* usualmente identifica la gran mayoría de las fuentes astronómicas, en algunos casos este algoritmo falla y, por lo tanto, no detecta objetos que son de interés o bien considera como objetos elementos espúrios tales como rayos cósmicos, iluminaciones extras o defectos del propio detector. En el caso particular de las regiones analizadas, una fuente de confusión a la hora de determinar las fuentes de interés es la presencia de nebulosidades. Por este motivo, una vez obtenida la lista de coordenadas producida por la tarea *DAOFIND*, se procedió a la inspección visual de los objetos encontrados mediante la utilización de la tarea *TVMARK*, la cual permite superponer las coordenadas sobre la imagen en cuestión. Las fuentes consideradas como reales que no fueron encontradas por la tarea *DAOFIND* fueron agregadas manualmente. De manera similar se eliminaron aquellas detecciones consideradas, por un motivo u otro, como espúrias.

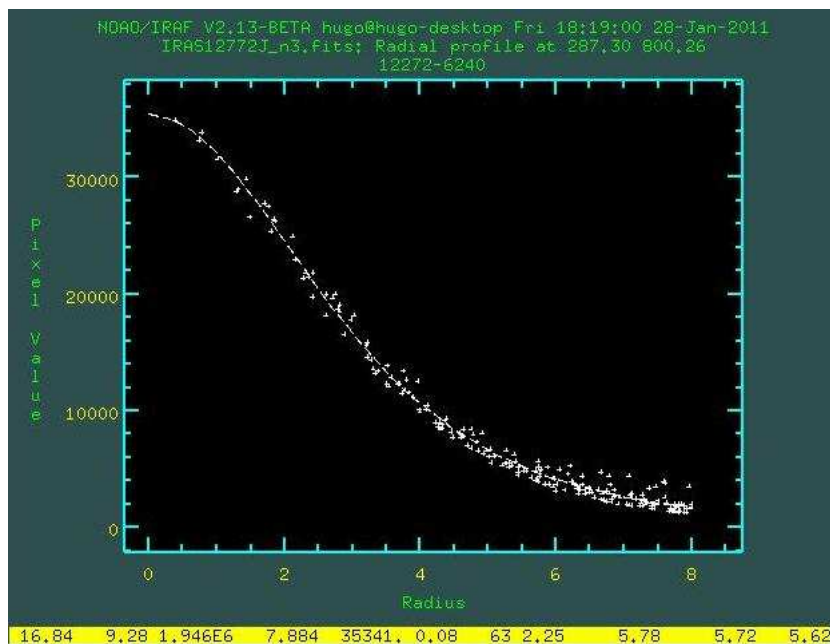


Figura 4.1: Perfil de brillo para una imagen estelar.

La detección de las fuentes se realizó sobre la imagen en la banda Ks por dos motivos principales. En primer lugar, la extinción es menor en esta banda. Del trabajo de Rieke & Lebofsky (1985) se puede ver que $A_K \sim 0.11A_V$, en tanto que $A_J \simeq 0.28A_V$. El segundo término para el empleo de la imagen en Ks es que, en el estudio de estrellas masivas, se espera detectar los (proto)cúmulos asociados, luego, atendido al comportamiento de la IMF, es de esperar que la mayoría de las fuentes en cada región sean de baja masa y, por lo tanto, objetos fríos que emitirán preferentemente en longitudes de ondas más largas. Estas dos razones (la menor extinción en la banda Ks y el mayor brillo del mayor número de objetos en la región) indican porqué la imagen en Ks es la más apropiada para ser utilizada como referencia al identificar las posiciones de las fuentes de interés.

Se procedió, luego, a alinear las imágenes en las restantes bandas H, J, H₂, y B_γ², con relación a la imagen en Ks, de modo que un dado objeto tenga idénticas coordenadas x e y en todas las imágenes. Para realizar esto se emplearon las tareas *GEOMAP* y *GEOTRAN* que se encuentra en el paquete *IMAGE.IMMATCH*. Para ello se determinan las coordenadas x e y de 5 estrellas bien espaciadas y distribuidas

²Las imágenes en H₂, y B_γ serán analizadas en la Sección 4.6.

en cada una de las imágenes. La tarea *GEOMAP* determina la transformación de coordenadas³ entre las imágenes en cuestión y aquella de referencia (la Ks en este caso). La tarea *GEOTRAN* genera una nueva imagen en la banda deseada transformada al sistema de la imagen de referencia, es decir, en la que cada estrella ocupa la misma posición que en la banda Ks.

4.1.2. Determinación de las Magnitudes en J, H y Ks

Una vez identificadas las fuentes y alineadas las imágenes se procedió a la determinación de la *Fotometría de Apertura* para cada objeto. Para ello se empleó la tarea *PHOT* que se encuentra en el paquete *NOAO.DIGIPHOT.APPHOT*. Esta fotometría consiste en determinar el flujo dentro de una apertura de radio "R", centrada en la posición de la fuente de interés. A este flujo contribuye no sólo la fuente, sino también el fondo o cielo que queda comprendido dentro de la misma. Para descontar esta contribución se emplea el valor promedio de la contribución del fondo en un anillo de radio interno "Ri" y ancho o espesor externo " ΔR ", centrado en la posición de la fuente tal como se indica en la Figura 4.2.

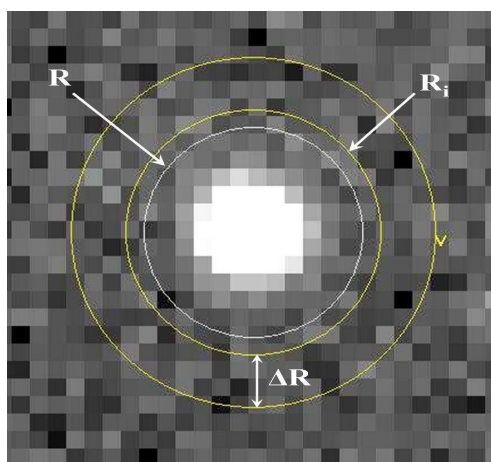


Figura 4.2: Representación esquemática de la apertura circular y del anillo para la medición de la contribución de fondo. R indica el radio de la apertura circular empleada, Ri el radio interno y ΔR el espesor de la región anular usada para la estimación de la contribución del fondo.

³Esta transformación implica, principalmente, una traslación. Sin embargo en algunos casos también puede existir una rotación y, eventualmente, un factor de contracción o de amplificación. En el caso particular de las imágenes de PANIC sólo se advierte un desplazamiento de unos pocos píxeles entre las distintas bandas.

La tarea *APPHOT* requiere de la definición de algunos parámetros para una determinación apropiada de las magnitudes deseadas. La Tabla 4.2 sintetiza los valores adoptados para cada uno de estos parámetros. También se indican las tareas específicas correspondientes donde se encuentran cada uno de ellos.

Tabla 4.2: Valores de los Parámetros Empleados por la Tareas *APPHOT*

Tareas	Parámetros	IRAS 12272–6240	IRAS 17149–3916
<i>DATAPARS</i>	"FWHM" [pixel]	6	5
	"sigma"	5	5
<i>FITSKYPARS</i>	"annuluss" [pixel]	12	12
	"dannulu" [pixel]	10	10
<i>PHOTOPARS</i>	"apert" [pixel]	10	10
	"Zmag"	ver Tabla 3.8	ver Tabla 3.8

En la tarea *DATAPARS* se introdujeron los valores apropiados para cada imagen, en cada filtro, del "FWHM", 6 pixeles para IRAS 12272–6240 y 5 para IRAS 17149 – 3916. Además se fijó un valor de la relación señal sobre ruido (S/N) mínima de 5. Este es el valor de "sigma" mínimo para la detección de cada fuente. Los parámetros de la región anular empleada para la estimación de la contribución del fondo, "annuluss" y "dannuluss", que representa el radio interno (Ri) del anillo y su ancho o espesor (ΔR), en "pixeles", fueron definidos en la tarea *FITSKYAPARS*. Para ambas fuentes se adoptaron 12 "pixeles" para el radio interno y 10 "pixeles" para el espesor del mencionado anillo (ver Figurar 4.2). En la tarea *PHOTPARS* se fijaron los valores del radio de la apertura circular ("apert") usada (10 "pixeles" para ambas fuentes) y el "punto cero" de las magnitudes en cada banda (Zmag). Estos valores fueron indicados en el Capítulo 3, Tabla 3.8 y permite calibrar las magnitudes o expresarlas en el "sistemas estándar". Finalmente se ejecuta la tarea *PHOT* para cada filtro y para cada una de las posiciones de las fuentes detectadas por la tarea *DAOFIND*⁴. La rutina *PHOT* genera un archivo con las magnitudes y sus respectivos errores para cada una de las fuentes⁵. En el Apéndice D del presente Trabajo Especial se presenta la lista completa de todas las fuentes detectadas en cada una de las regiones⁶.

⁴La tarea *DAOFIND* produce un listado de las coordenadas x e y de todas las fuentes encontradas. Este listado sirve como archivo de entrada de la tarea *PHOT*.

⁵En realidad la salida de la tarea *PHOT* contiene más información adicional, como por ejemplo magnitud del fondo, flujos de cada fuente con y sin la contribución de fondo, etc.

⁶Para realizar la transformación de las coordenadas sobre el detector (x,y) a las coordenadas celestes (α , δ) se emplearon todas las estrellas en cada región comunes con el 2MASS.

4.2. Distribución en Magnitudes (J, H y Ks) de las Fuentes Detectadas en cada Región

Las Figuras 4.3 y 4.4 presentan la distribución en magnitudes de las fuentes detectadas en cada región. Para la fuente IRAS 12272–6240 se detectaron 1000 objetos, en los tres filtros, en tanto que para IRAS 17149–3916 fueron 838. En todos los histogramas se indica con una línea vertical de trazos los límites de completitud cuyos valores se presentarán a continuación junto con las magnitudes correspondientes a los límites de detección.

4.2.1. Histogramas en Magnitudes de IRAS 12272–6240

De la Figura 4.3 puede verse que los límites de completitud de la muestra disponibles (1000 objetos) pueden fijarse en 18.5, 17.5 y 16.5 en los filtros J, H y Ks, respectivamente. Mientras que los límites de detección en 21, 20 y 19, J, H y Ks. Asumiendo una distancia promedio de 2 Kpc⁷ hacia IRAS 12272–6240, y en ausencia de extinción ($A_V = 0$), el límite de completitud en la banda Ks ~ 16.5 corresponde a una estrella de Secuencia Principal de tipo espectral K5, en tanto que el límite de detección a una de tipo M5 (Koornneef 1983).

4.2.2. Histogramas en Magnitudes de IRAS 17149–3916

Para esta región los límites de completitud corresponde a 17.5, 16.5 y 15.5, para los filtros J, H y Ks. Los de detección a 21, 19 y 18, en las bandas J, H y Ks, respectivamente (ver Figura 4.4). Si, como en el caso anterior, asumimos una distancia de 2 Kpc y un monto de extinción despreciable ($A_V = 0$) hacia la región asociada con IRAS 17149–3916, el límite de completitud en la banda Ks, corresponde a una estrella de Secuencia Principal de tipo espectral K0. De manera similar el límite de detección a una de tipo espectral M3. En esta estimación, como en la anterior, se emplearon las magnitudes de estrellas de Secuencia Principal del trabajo de Koornneef (1983).

⁷En la Sección 4.3 se discutirá la determinación de la distancia a ambas regiones. Aquí sólo se emplea el valor de 2 Kpc como referencia a fin de dar una idea de la profundidad de los datos analizados.

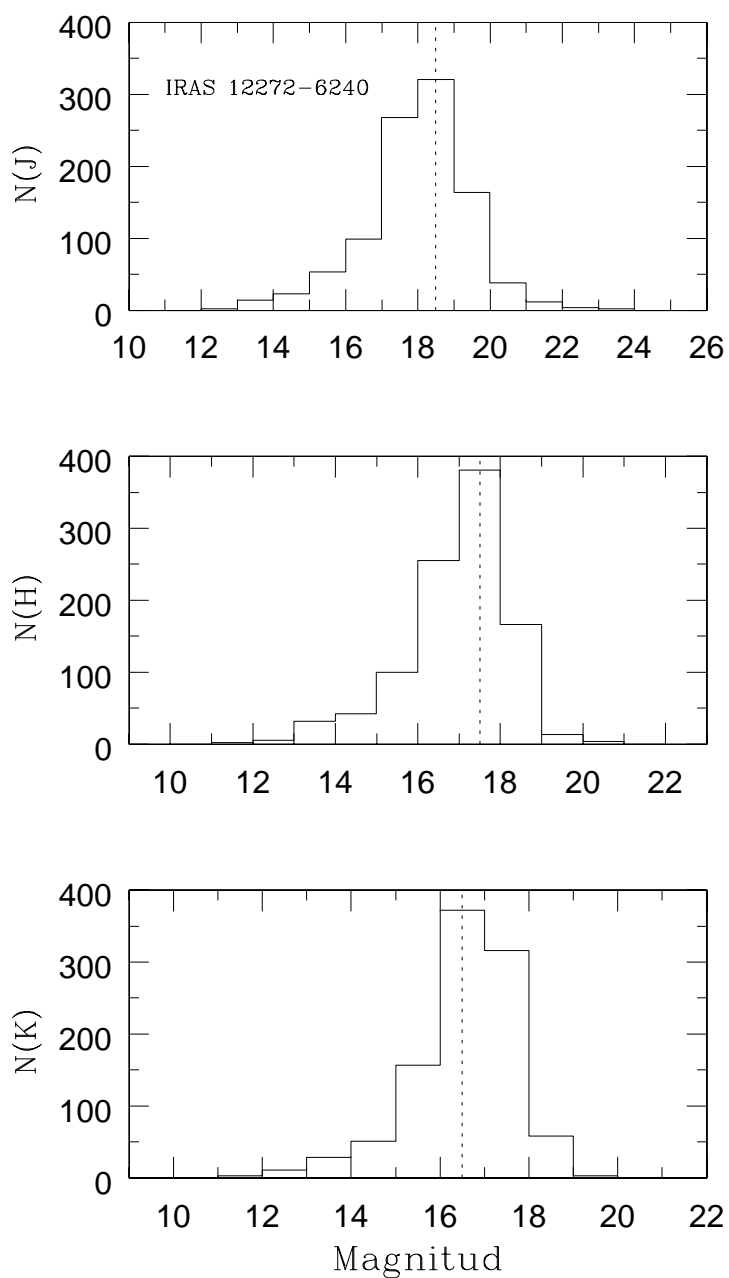


Figura 4.3: Histogramas de la distribución de magnitud en las bandas J, H, Ks de las fuentes detectadas en la región de IRAS 12272–6240. La línea a trazos indica el límite de completitud de la muestra en cada filtro.

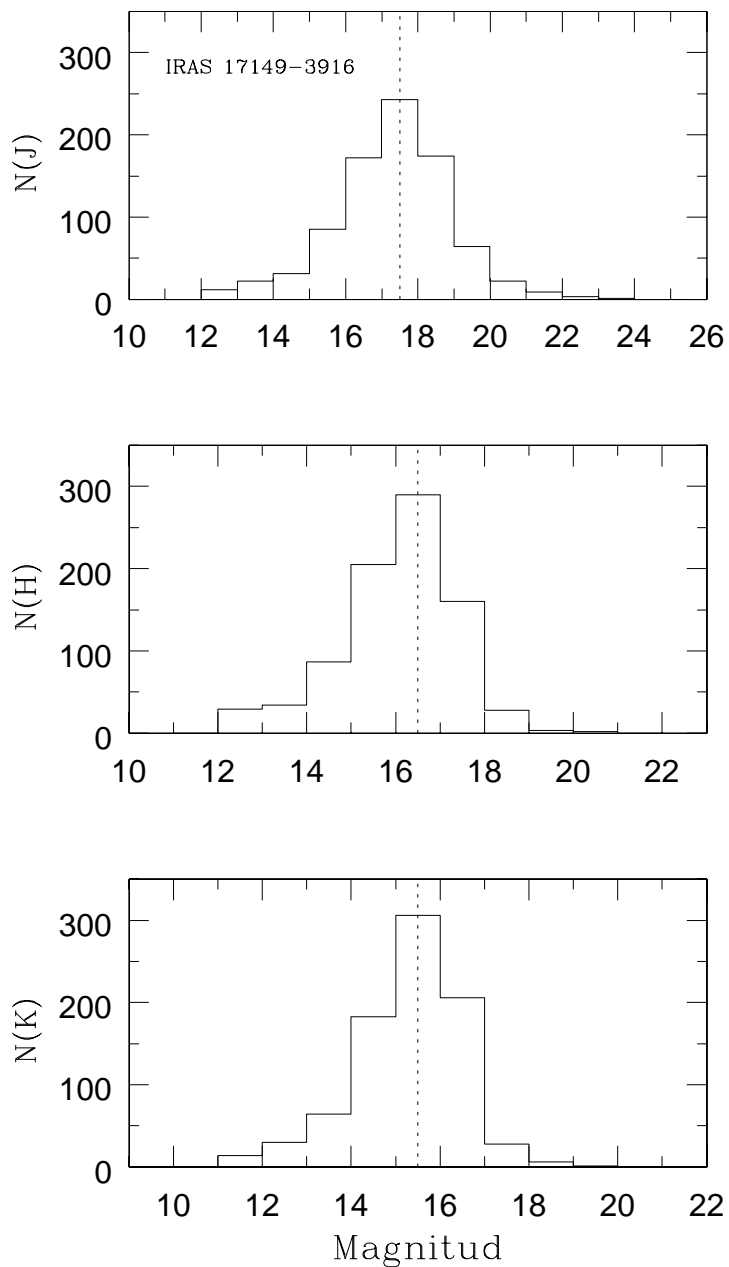


Figura 4.4: Histogramas de la distribución de magnitud en las bandas J, H, Ks de las fuentes detectadas en la región de IRAS 17149–3916. La línea a trazos indica el límite de completitud de la muestra en cada filtro.

4.3. Diagrama Color-Color J–H vs H–Ks

Las Figuras 4.5 y 4.6 muestran los diagramas color-color J–H vs H–Ks para las regiones asociadas con IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916, respectivamente. En el Apéndice B se describe la utilidad de este diagrama para identificar objetos con excesos de color intrínseco, en general atribuidos a la presencia de envoltentes y discos circunestelares, de aquéllos que sólo presentan enrojecimiento de tipo interestelar.

4.3.1. Diagrama Color-Color de la Región IRAS 12272–6240

De las 1000 fuentes detectadas en esta región (ver Figura 4.3), en el diagrama de la Figura 4.5 sólo se presenta la ubicación de aproximadamente el 70 % de total (692 fuentes). Las restantes fuentes poseen magnitudes con errores significativamente grandes de tal manera que los índices de color resultantes son muy inciertos. En esta región, se detectaron 97 fuentes con enrojecimiento intrínseco, ya que yacen a la derecha de la banda de enrojecimiento en la Figura 4.5 y representan el 14 % de la muestra mostrada en este diagrama. En realidad, para determinar este porcentaje y a fin de tener en cuenta los errores en los índices de color de una manera general o "estadística" y no de cada una de las fuentes en particular, se adoptó como criterio que las fuentes con exceso de color intrínseco son las que se caen a la derecha de una recta paralela a la banda de enrojecimiento separada de ella (hacia la derecha) en una cantidad de 0.1 magnitud⁸.

4.3.2. Diagrama Color-Color de la Región IRAS 17149–3916

En la Figura 4.6 se muestra el diagrama color-color J–H vs H–Ks de la región IRAS 17149–6240. De las 838 fuentes detectadas (ver Figura 4.4), sólo se muestra en el dicho diagrama, la localización de 719 de ellas (o sea el 85 % de la muestra). En forma análoga al caso de IRAS 12272–6240 no se incluyeron fuentes con errores grandes en las magnitudes. Aplicando el mismo criterio⁸ usado en el diagrama color-color de la región anterior se obtiene que un total de 242 fuentes yacen a la derecha de la banda de enrojecimiento en la Figura 4.6, lo cual corresponde al 34 % de la muestra. Es decir que aproximadamente un tercio de las fuentes detectadas presentan excesos de color intrínseco.

⁸Este criterio es adecuado para estimar el porcentaje de fuentes con excesos de color intrínseco. Sin embargo puede ser refinado, considerando los errores individuales de cada fuente y seleccionando, en forma estricta, solo aquéllas que caen a la derecha de la banda de enrojecimiento, teniendo en cuenta los respectivos errores.

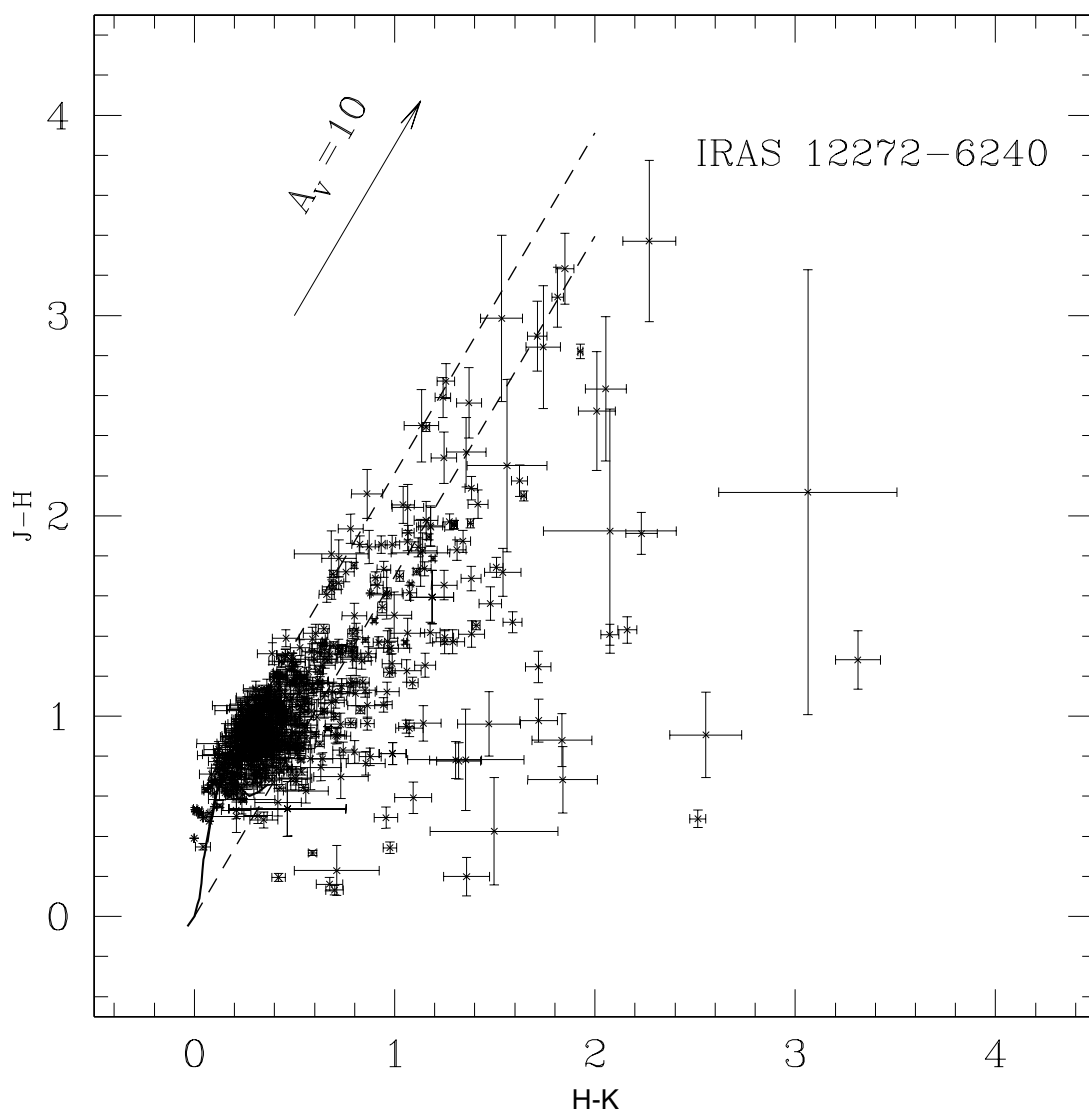


Figura 4.5: Diagrama color color $J-H$ vs $H-K$ s de la región de IRAS 12272-6240. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de la Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 10 magnitudes.

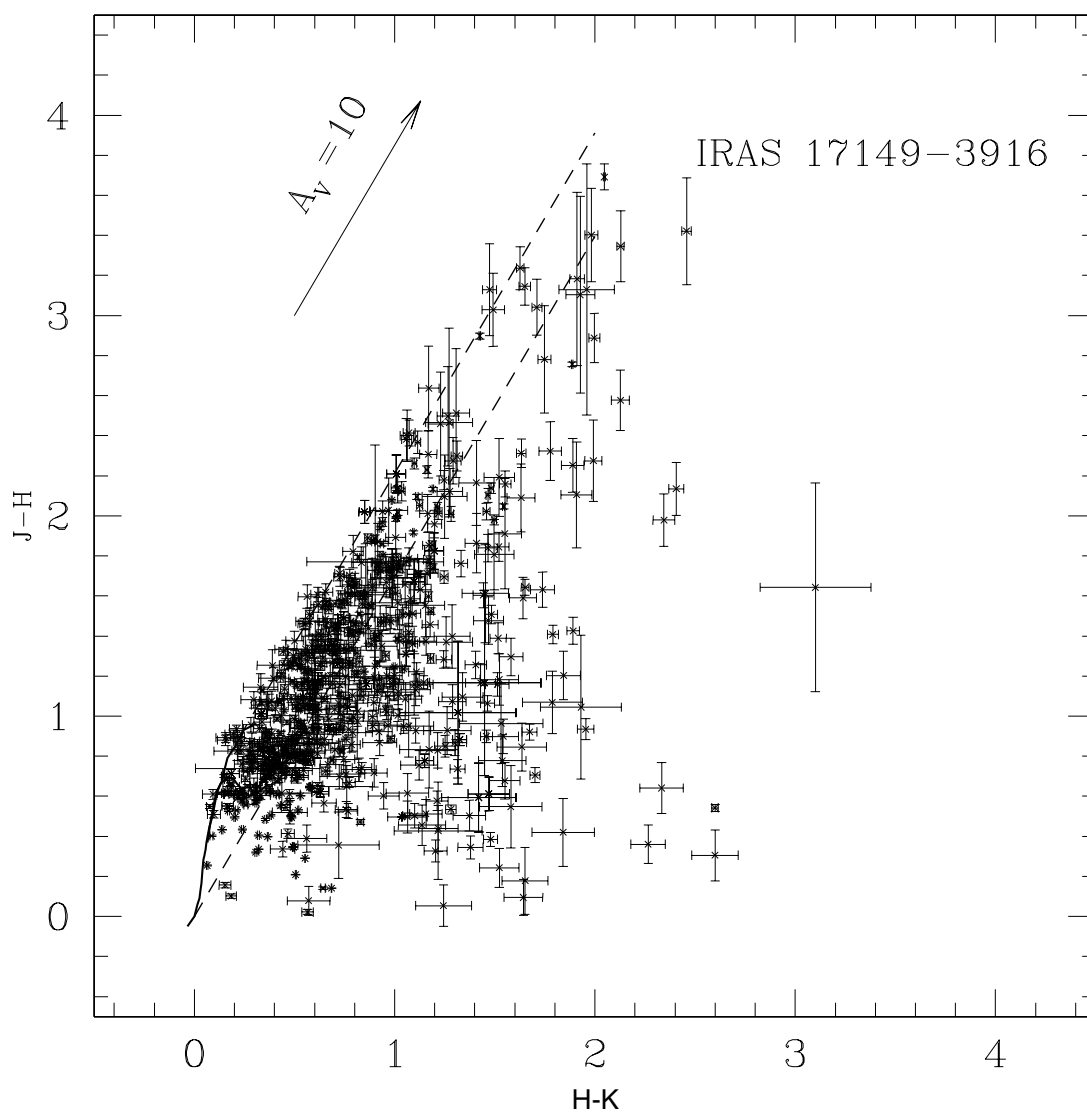


Figura 4.6: Diagrama color color $J-H$ vs $H-K$ s de la región de IRAS 17149-3916. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de la Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 10 magnitudes.

4.4. Diagrama Color-Magnitud Ks vs H–Ks

El diagrama color-magnitud es de gran utilidad a la hora de identificar estrellas en distintas etapas evolutivas. Para ello se suele "llevar" la Secuencia Principal a la distancia del (proto)cúmulo en cuestión, teniendo en cuenta, además, la extinción interestelar en esa dirección. Es posible entonces comparar el diagrama color-magnitud observado para cada región con la localización en el mismo de las estrellas de Secuencia Principal.

En primer lugar se procedió a estimar las distancias a ambos (proto)cúmulos para lo cual se empleó el modelo cinemático de Brand & Blitz (1993). Para estimar la extinción interestelar, promedio, hacia cada región, se usaron los correspondientes diagramas color-color a fin de obtener un valor de A_V compatible con la localización del centroide de la distribución de las estrellas "sin" excesos de color intrínseco, es decir de aquéllas que pueden ser des-enrojecidas siguiendo la dirección del vector de enrojecimiento. Luego empleando la curva de absorción interestelar de Rieke & Lebofsky (1985) se afectaron las magnitudes en Ks y los colores en H–Ks de las estrellas de Secuencia Principal. En otras palabras con este procedimiento se "colocó" a la Secuencia Principal a la distancia de cada una de las regiones y se la afectó por el mismo monto promedio de absorción interestelar.

4.4.1. Método Cinemático para la Estimación de Distancias

Este modelo asume que las estrellas ubicadas sobre el plano de la Galaxia se mueven en órbitas circulares respecto al centro galáctico y que la velocidad angular sólo depende de la distancia a dicho centro. Este método es de gran utilidad para el caso en que sólo se tienen disponibles las posiciones (coordenadas galácticas, b y l) y las velocidades radiales de las estrellas. Si bien es estrictamente válido para estrellas que se ubican sobre el plano galáctico ($b = 0^\circ$) también puede aplicarse, en primera aproximación, para objetos con latitudes galácticas pequeñas ($|b| < 1^\circ$).

Este modelo presenta, sin embargo, una ambigüedad en la determinación de la distancia (cinemática) respecto al Sol, para objetos que se encuentran ubicados en la parte interna de la Galaxia (región más cercana al centro galáctico que el Sol), en donde la línea de la visual del observador corta en dos puntos a la órbita circular de la estrella, siendo la velocidad radial igual en ambos puntos, dando como resultado

dos valores distintos para la distancia cinemática (d_1 y d_2), como se puede ver en la Figura 4.7 que es una representación esquemática del método para el caso de una estrella en la parte interna de la galaxia. En la literatura se han presentado varios criterios para establecer si el objeto se encuentra en el punto más cercano o más lejano sobre su órbita con respecto al Sol (ver, por ejemplo, Sewilo et al. 2004). Al final de esta sección se discutirá cuál de las dos distancias resulta más apropiada adoptar para cada una de las fuentes analizadas. Esta será la distancia empleada para la construcción del diagrama color-magnitud de cada región.

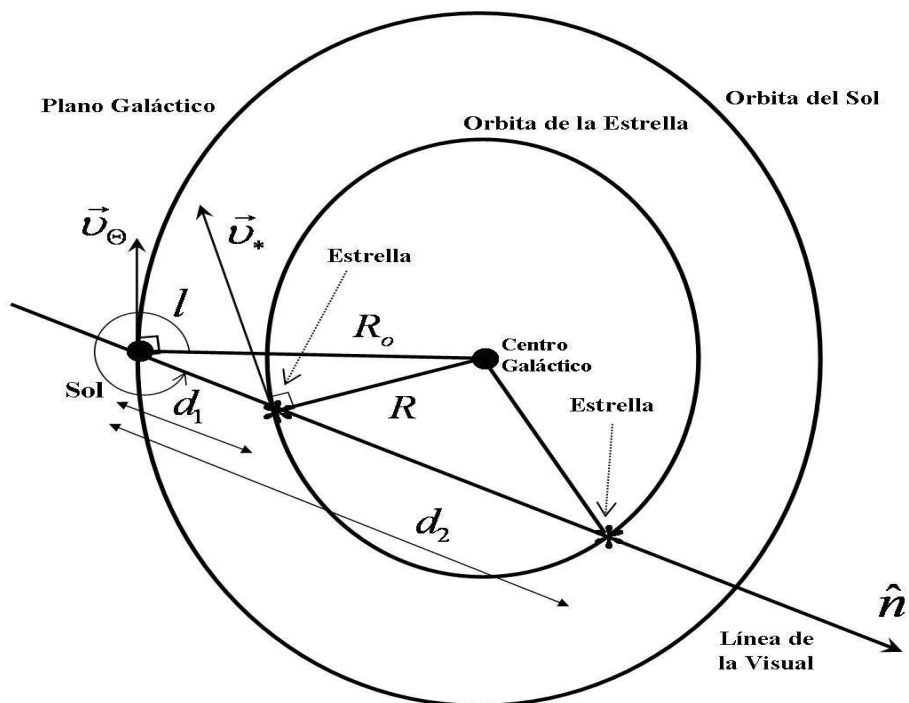


Figura 4.7: Representación esquemática del método de Brand & Blitz (1993) para determinar de la distancia cinemática de objetos ubicados sobre el plano galáctico.

Para llegar a las expresiones básicas que relacionan la velocidad radial, v_r , y la longitud galáctica, l , (cantidades medidas u observadas) con la velocidad lineal v y la distancia galactocéntrica, R , se emplea solamente trigonometría plana y la relación entre los vectores velocidad, dada por:

$$\vec{v}_{*\odot} = \vec{v}_* - \vec{v}_{\odot} \quad (4.1)$$

donde $\vec{v}_{*\odot}$ es el vector velocidad de la estrella respecto al Sol, \vec{v}_* y \vec{v}_{\odot} los vectores velocidad de la estrella y del Sol respecto al centro galáctico, respectivamente.

Como se puede ver de la Figura 4.7, inicialmente se descomponen las velocidades \vec{v}_* y \vec{v}_{\odot} en dos componentes mutuamente perpendiculares. Una sobre la línea de la visual que tiene dirección \hat{n} y la otra sobre la dirección perpendicular a la línea de la visual con versor \hat{t} . Empleando la Ecuación 4.1 se obtiene la velocidad relativa:

$$\vec{v}_{*\odot} = (-v_* \cos(\alpha) + v_{\odot} \cos(\alpha_{\odot}))\hat{n} + (v_* \sin(\alpha) - v_{\odot} \sin(\alpha_{\odot}))\hat{t} \quad (4.2)$$

siendo α_{\odot} y α los ángulos que forman los vectores velocidad \vec{v}_{\odot} y \vec{v}_* con la línea de la visual, respectivamente. En la Expresión 4.2, la componente sobre la línea de la visual es la velocidad radial, v_r , y la componente perpendicular es la velocidad tangencial v_t , relacionada con el movimiento propio. Adoptando $\alpha_{\odot} = l - 270^\circ$, se tiene:

$$v_r = -v_* \cos(\alpha) - v_{\odot} \sin(l) \quad (4.3)$$

$$v_t = v_* \sin(\alpha) - v_{\odot} \cos(l). \quad (4.4)$$

Aplicando el teorema del seno y del coseno en el triángulo de la Figura 4.7 formado por el Sol-centro galáctico-estrella se obtiene una expresión para el $\cos(\alpha)$ y para la distancia galactocéntrica de la estrella:

$$\cos(\alpha) = -\frac{R_{\odot}}{R} \sin(l) \quad (4.5)$$

$$R^2 = R_{\odot}^2 + d^2 - 2R_{\odot}d \cos(l) \quad (4.6)$$

donde, R_{\odot} es la distancia galactocéntrica del Sol y d la distancia cinemática de la estrella al Sol. Finalmente, remplazando la Ecuación 4.5 en la 4.3 se obtiene la relación deseada:

$$\frac{v_*}{v_{\odot}} = \frac{R}{R_{\odot}} \left(1 - \frac{v_r}{v_{\odot} \sin(l)} \right). \quad (4.7)$$

Para la determinación de la velocidad lineal del objeto, v_* , puede emplearse la curva de velocidad galáctica determinada por Brand & Blitz (1993), que se muestra en la Figura 4.8. Estos autores utilizaron una muestra considerable de regiones HII y nebulosas de reflexión, con l entre 90° y 270° , para los cuales disponían de sus distancias espectro-fotométricas y de las velocidades radiales, determinadas a partir de las velocidades radiales del material molecular asociado, en el cual estos objetos se encuentran embebidos o incrustados. Para modelar los datos observacionales, y siguiendo el trabajo de Fich et al. (1989), Brand & Blitz (1993) eligieron una función de la forma:

$$\frac{\omega}{\omega_\odot} = a_1 \left(\frac{R}{R_\odot} \right)^{a_2-1} + a_3 \left(\frac{R_\odot}{R} \right), \quad (4.8)$$

siendo ω y ω_\odot las velocidades angulares de la estrella y del sol, respectivamente. Los autores determinaron los siguientes valores para las constantes: $a_1 = 1,00767$, $a_2 = 0,0394$ y $a_3 = 0,00712$.

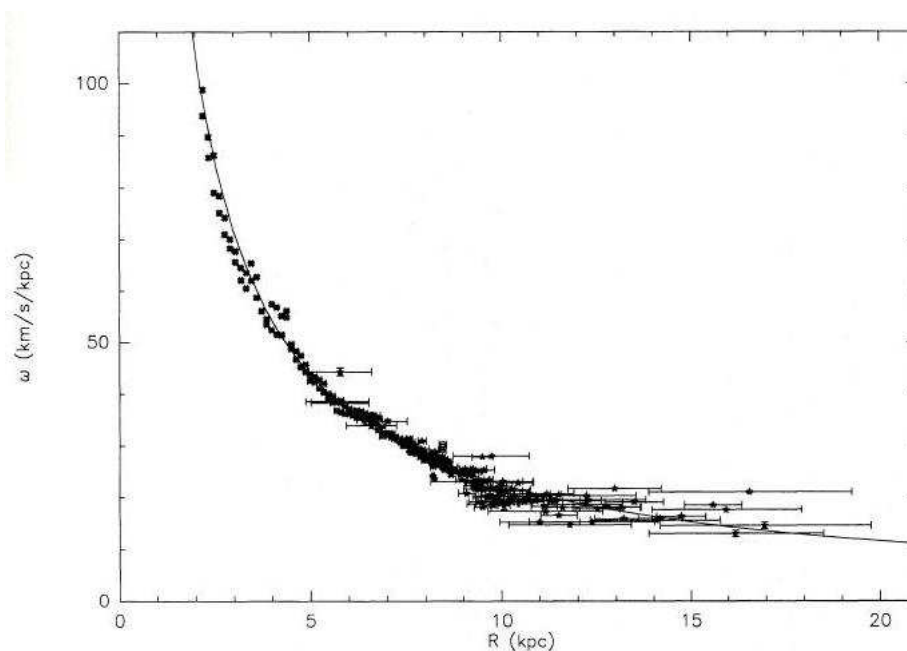


Figura 4.8: Curva de velocidad galáctica donde se presenta la velocidad angular ω como función de la distancia galactocéntrica R para una muestra de Regiones HII y nebulosas de reflexión. La línea continua corresponde a la ley de potencia que ajusta mejor los datos (ver Ecuación 4.8). Figura tomada del trabajo de Brand & Blitz (1993).

Usando la expresión $\omega = v/R$, la Ecuación 4.8, puede ser escrita como función de la velocidad lineal de la estrella como:

$$\frac{v}{v_{\odot}} = a_1 \left(\frac{R}{R_{\odot}} \right)^{a_2} + a_3. \quad (4.9)$$

Se debe tener presente que la validez de estos ajustes está limitada a un rango de radio galactocéntrico que va desde 5-6 hasta 17 Kpc, límites de distancia correspondiente a la muestra de Brand & Blitz (1993).

Para determinar las distancias cinemáticas de cada una de las regiones asociadas con IRAS 12272–6249 e IRAS 17149–3916, se emplean las velocidades radiales de máseres de metanol y agua asociados con cada una de las estrellas masivas de estas regiones. En la Tabla 4.3 se listan estos datos⁹.

Tabla 4.3: Velocidades Radiales y Distancias Cinemáticas

IRAS 12272–6240		IRAS 17149–3916		Referencias
Metanol v_r (Km/s)	Agua v_r (Km/s)	Metanol v_r (Km/s)	Agua v_r (Km/s)	
7	—	–12	—	Walsh et al. (1997)
7	—	–12	—	Pestalozzi et al. (2005)
7.5	11	—	—	Breen et al. (2010)
8	—	—	—	Vall’ts et al. (2000)
—	—	–18	—	Caswell & Hayne (1987)

Para la fuente IRAS 12272–6240 no existiría la ambigüedad en la distancia cinemática a la que se hizo referencia, ya que, adoptando los siguientes valores para las constantes solares, $R_{\odot} = 8.5$ Kpc y $v_{\odot} = 220$ Km/s, se encuentra de las ecuaciones 4.7 y 4.9 que su distancia galactocéntrica es 8.9 Kpc, ligeramente mayor a la del Sol, por lo que se encontraría fuera del radio solar galáctico. Luego, usando la ecuación 4.6, se estima una distancia de 9.6 Kpc para la fuente IRAS 12272–6240.

⁹En general, se acepta que los máseres de metanol y agua están asociados con la formación de las estrellas de gran masa, a punto tal que se los considera "indicadores" de la formación de las mismas. Por este motivo es aceptable suponer que estos máseres se encuentran a la misma distancia que las regiones en cuestión.

Por el contrario, la fuente IRAS 17149–3916 presenta la ambigüedad en la determinación de la distancia cinemática a la que se hacía referencia, puesto que, teniendo en cuenta los mismos valores para las constantes solares, se encuentra que su distancia galactocéntrica es 6 Kpc. Empleando la misma expresión usada en IRAS 12272–6240, se determina para IRAS 17149–3916 una distancia cercana de 2.2 Kpc y una lejana de 14.5 Kpc. En este caso, es razonable adoptar la distancia más cercana ya que 14.5 Kpc corresponde a un módulo de distancia de 15.8, apenas 0.3 mag más grande que el límite de completitud en la banda Ks (ver Figura 4.4), por lo cual no habría sido posible detectar un (proto)cúmulo asociado. Como referencia una estrella de tipo espectral B7 posee una magnitud absoluta en K de -0.3 (Koorneef 1983). Es decir que a la distancia de 14.5 Kpc no sería posible detectar estrellas de masa baja e intermedia. Esto resulta incompatible con el número de fuentes detectadas en la región, asumiendo que la gran mayoría de ellas pertenecen al (proto)cúmulo asociado.

Hay que aclarar que las distancias derivadas para cada región corresponden a los promedios de los valores obtenidos para cada una de las velocidades radiales listadas en la Tabla 4.3. También es relevante mencionar que estas distancias son compatibles con las derivadas por los autores indicados en la misma tabla.

Cabe mencionar que esta determinación de las distancias de ambas regiones son consistentes a los obtenidos por Beltran et al. (2006), ver Tabla 3.5 de la Sección 3.1.3, quienes estiman una distancia de 11.2 Kpc para IRAS 12272–6240 y de 2.1 Kpc para IRAS 17149–3916, y también con la obtenida por Roman-Lopes & Abraham (2006), cuya distancia estimada por ellos para IRAS 17149–3916 es de 1.6 Kpc.

4.4.2. Enrojecimiento Interestelar

De los diagramas color-color de las Figuras 4.5 y 4.6 puede estimarse, en forma muy aproximada, la extinción hacia cada una de las regiones en estudio. Para ello se considera el corrimiento promedio (siguiendo la dirección del vector de enrojecimiento) del centroide de las estrellas que no presentan excesos de color intrínseco, es decir, de aquellas que yacen dentro de la banda de enrojecimiento. En el caso de IRAS 12272–6240 este desplazamiento es compatible con $A_V \sim 2$. Para IRAS 17149–3916 este corrimiento es significativamente mayor, por lo cual se adopta $A_V \sim 5.5^{10}$.

¹⁰Notar como el centro de la distribución de los objetos "sin" excesos de color intrínseco en la Figura 4.6 se aleja significativamente de la posición de la Secuencia Principal en tanto que no ocurre lo mismo para la Figura 4.5.

Del trabajo de Rieke & Lebofsky (1985), $A_K = 0.112 A_V$ y $E(H-K) = 0.063 A_V$. En el caso particular de IRAS 12272–6240, $A_K = 0.224$ y $E(H-K) = 0.126$. Para la fuente IRAS 17149–3916, $A_K = 0.616$ y $E(H-K) = 0.3465$. Estos valores, junto con el módulo de distancia ($5 \text{ Log } r/10$), serán empleados en la próxima Sección para "llevar" a la Secuencia Principal a la distancia de cada una de estas regiones.

4.4.3. Diagrama Color-Magnitud Ks vs H-Ks de la Región IRAS 12272–6240

En la Figura 4.9 se presenta el diagrama color magnitud de la región de la fuente IRAS 12272–6240, para la cual se ha estimado una distancia de 9.6 Kpc. La Secuencia Principal, obtenida del trabajo de Koornneef (1983), ha sido "colocada" a esta distancia y enrojecida por una absorción promedio de $A_V = 2$ mag, de acuerdo a la ley de absorción interestelar de Rieke & Lebofsky (1985). Casi el 80 % de la muestra yace a la derecha de la Secuencia Principal y, por lo tanto, muy probablemente, se trate de objetos todavía en etapa de formación. Se indican en puntos rojos aquellos objetos que presentan excesos de color instrínsecos, notar que todos se encuentran a la derecha de la Secuencia Principal. Además, en la Figura 4.9 puede verse que se han detectado estrellas jóvenes desde tipos espectrales O6, que corresponde a estrellas con masas $\sim 40 M_\odot$, hasta los tipos espectrales F tardíos y G tempranos, con $m \sim 1 M_\odot$.

4.4.4. Diagrama Color Magnitud Ks vs H-Ks de la Región IRAS 17149–3916

En la Figura 4.10 se presenta el diagrama color magnitud de la región de la fuente IRAS 17149–3916. Para esta fuente y el (proto)cúmulo asociado se ha estimado una distancia de 2.2 Kpc. La Secuencia Principal, también obtenida del trabajo de Koornneef (1983), ha sido "llevada" a esta distancia y enrojecida por $A_V = 5.5$, de acuerdo con la ley de enrojecimiento interestelar de Rieke & Lebofsky (1985). En esta región $\sim 74\%$ de la muestra todavía no ha alcanzado la etapa de Secuencia Principal. Por lo tanto, como en el caso anterior, es muy probable que se traten de objetos muy jóvenes aún en su etapa de formación. En puntos rojos se indican aquellos objetos que presentan excesos de color instrínsecos; notar que la mayoría de ellos se encuentran a la derecha de la Secuencia Principal. De la Figura 4.10 puede verse que ha sido posible detectar estrellas jóvenes desde tipos espectrales O6, correspondiente a estrellas con masas $\sim 40 M_\odot$, hasta los tipos espectrales K intermedios, que corresponden a masas $\sim 0.5 M_\odot$.

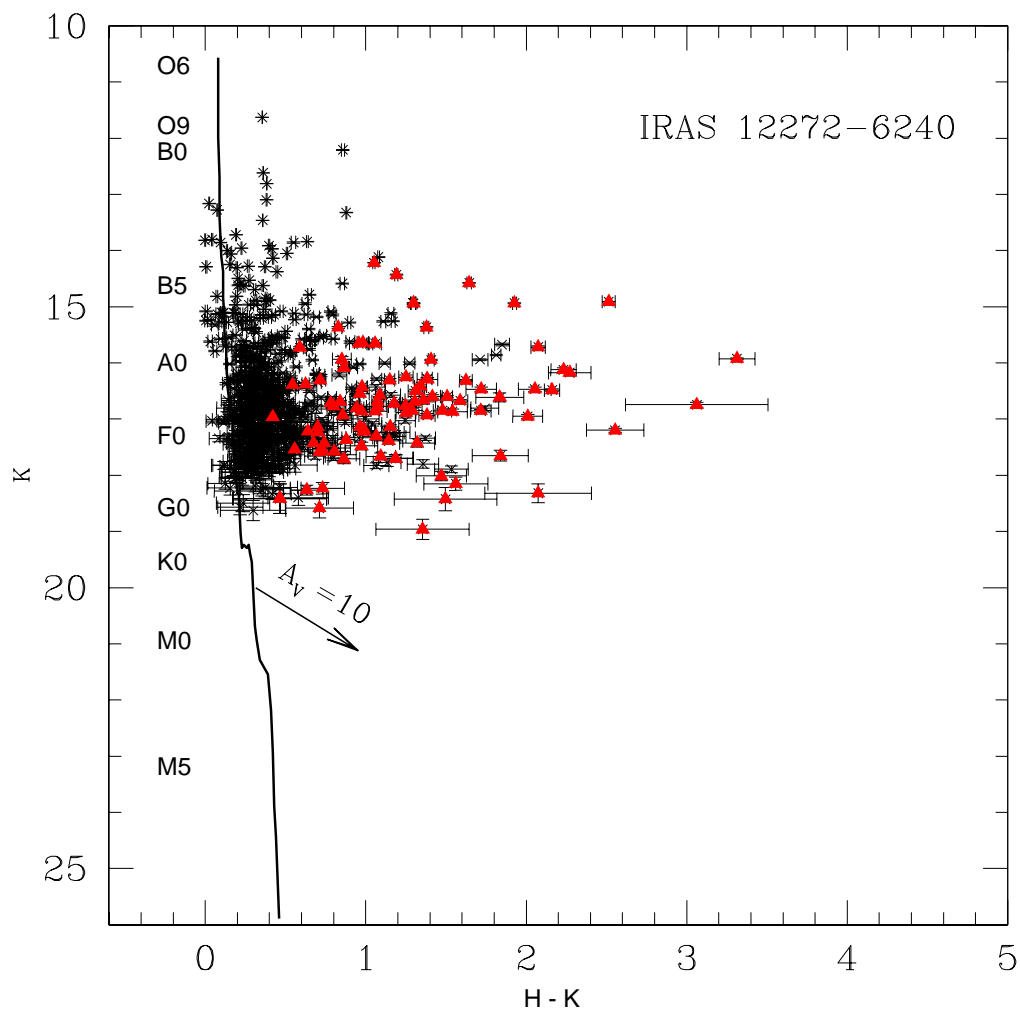


Figura 4.9: Diagrama color-magnitud H vs H-K. La línea de trazo continuo grueso indica la localización de las Secuencia Principal en este diagrama para una distancia de 9.6 Kpc (módulo de distancia igual a 14.9 mag). Los colores y magnitudes de las estrellas de Secuencia Principal han sido obtenidos del trabajo de Koornneef (1983) y enrojecidos por $A_V = 2$ ($A_K = 0.224$, $E(H-K) = 0.126$), siguiendo el vector de enrojecimiento de Rieke & Lebofsky (1985). En puntos rojos se indican aquellos objetos con exceso de color intrínseco. La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 10 magnitudes.

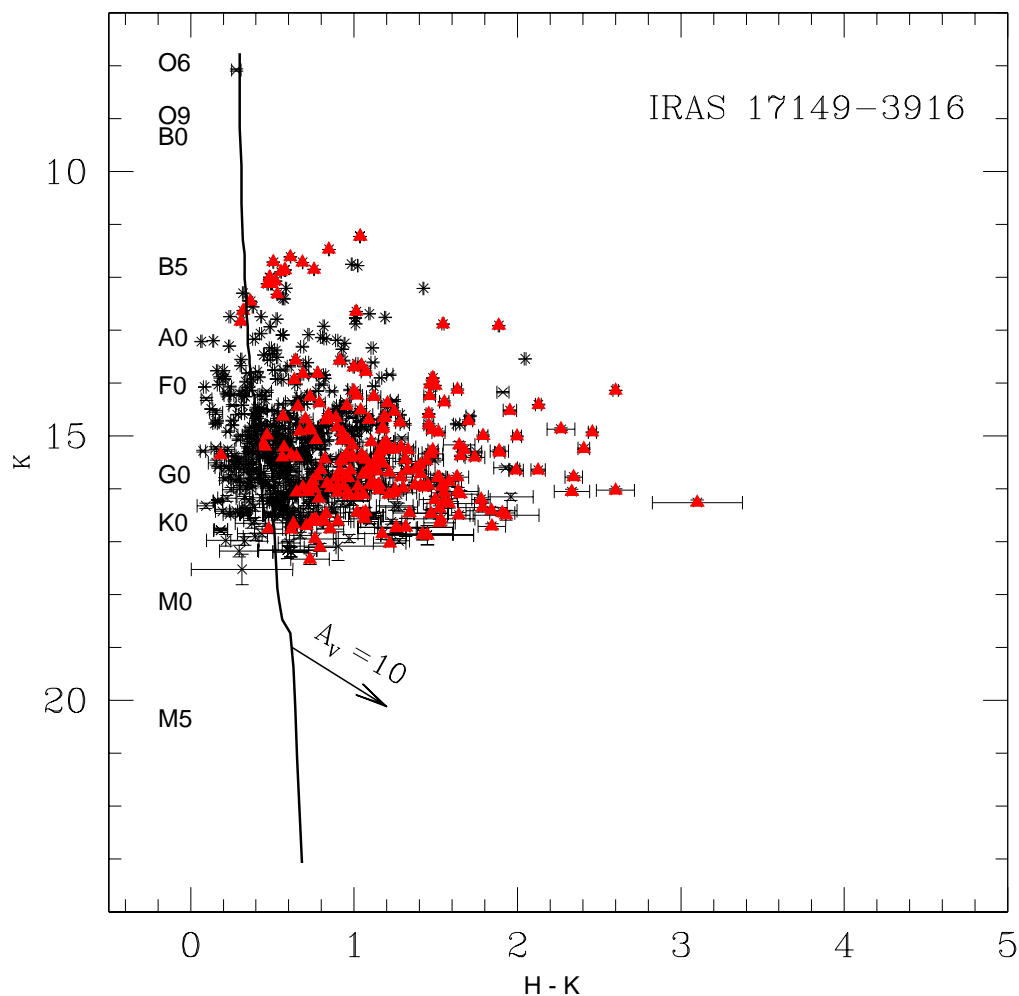


Figura 4.10: Diagrama color-magnitud H vs H-K. La línea de trazo continuo grueso indica la localización de la Secuencia Principal en este diagrama para una distancia de 2.2 Kpc (módulo de distancia igual a 11.7 mag). Los colores y magnitudes de las estrellas de Secuencia Principal han sido obtenidos del trabajo de Koornneef (1983) y enrojecidos por $A_V = 5.5$ mag ($A_K = 0.616$, $E(H-K) = 0.347$), siguiendo el vector de enrojecimiento de Rieke & Lebofsky (1985). En puntos rojos se indican aquellos objetos con exceso de color intrínseco. La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 10 magnitudes.

4.5. Relevamiento de Roman-Lopes & Abraham (2006) para la Región de IRAS 17149–3916

Roman-Lopes & Abraham (2006) presentaron un estudio en el infrarrojo cercano de la región asociada con la fuente IRAS 17149–3916, a su vez asociada con una región H II denominada RCW 121, localizada en $l = 348.2^\circ$ y $b = -1.0^\circ$. RCW 121 es una región H II compacta (tamaño angular de $1'$) e intensa (11.9 Jy) en el continuo en 5 GHz (Rodgers et al. 1960, Caswell & Haynes 1987). Bronfman et al. (1996) detectaron gas molecular denso en la región en la línea del CS(2–1). Emisiones de máseres de metanol (Walsh et al. 1997) y de OH (Cohen et al. 1995) también fueron encontrados asociados con esta fuente IRAS. Dutra et al. (2003), mediante inspección visual de las placas de 2MASS, detectaron un cúmulo en la zona.

Las observaciones fueron realizadas con la cámara NIR montada en el telescopio Boller & Chivens de 0.6 m del Laboratorio Nacional de Astrofísica de Brasil. El área cubierta fue de $\sim 1.5' \times 2.4'$. El FWHM resultó de $1.9'$, $2.0'$ y $2.1'$, en los filtros J, H y K, respectivamente. El relevamiento realizado es completo hasta $\sim J = 14.5$, $H = 13.5$ y $K = 13$. La Figura 4.11 muestra la distribución en magnitudes de las fuentes detectadas en la región.

La Figura 4.12 muestra el diagrama color-color de la región y la Figura 4.13 el diagrama color-magnitud presentados por Roman-Lopes & Abraham (2006). En base a estos diagrama, y asumiendo una distancia de 1.6 Kpc , estos autores identifican 96 posibles miembros del (proto)cúmulo asociado, 30% de los cuales presentan excesos de color en el infrarrojo cercano característicos de objetos estelares jóvenes. También identifican a la fuente IRS 1 (ver Tabla 1 del trabajo de Roman-Lopes & Abraham 2006), con un tipo espectral O5V - O6V¹¹, como la fuente responsable de la ionización de la región HII circundante. Además obtuvieron una extinción visual media (A_V) hacia la región de $\sim 5.5 \text{ mag}$.

El relevamiento presentado en este Trabajo Especial fue realizado con el telescopio Baade de 6.5 m y la cámara infrarroja PANIC, cubriendo un área de $\sim 2' \times 2'$, centrada en la posición de la fuente IRAS (ver Capítulo 3). El FWHM de estos datos es de $0.6''$, y el relevamiento es completo hasta $J = 17.5$, $H = 16.5$ y $K = 15.5$.

¹¹Este tipo espectral se corresponde con el determinado mediante espectros en la banda K por Bik et al. (2005). En este trabajo se le asigna a esta fuente un tipo espectral O5V–O6.5V.

Es decir que los datos aquí analizados son alrededor de 2.5–3 mag más profundos que la de los autores citados. La resolución angular es también un factor 3 mejor que la de los datos analizados por Roman-Lopes & Abraham (2006). El número total de fuentes detectadas es de 838 (ver Figura 4.4), en tanto que en el diagrama color-color de la Figura 4.6 se muestran 719, en comparación con 96 objetos propuestos por estos autores. De nuestras observaciones se obtiene un total de 34 % de fuentes con exceso, lo cual se corresponde con el 30 % estimado por Roman-Lopes & Abraham (2006). Finalmente, de la Figura 4.13 se puede ver que estos autores sólo pudieron detectar fuentes de tipos espectrales de hasta F tardíos (con $m \sim 1.2 M_{\odot}$) mientras que las observaciones hechas en las fuentes IRAS 17149-3916 en este trabajo fueron mucho más profundas, llegando a detectar objetos más débiles y tardíos de tipo espectrales K intermedios (con $m \sim 0.5 M_{\odot}$).

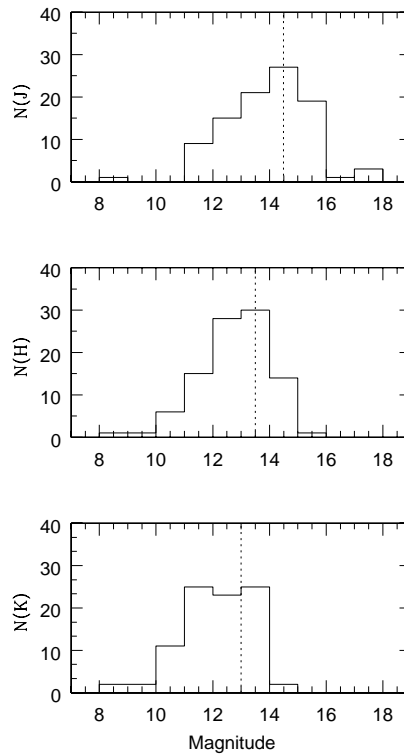


Figura 4.11: Histograma de la distribución de magnitud en las bandas K, H y J, confeccionados con los datos proporcionados en la Tabla 2 del trabajo de Roman-Lopes & Abraham (2006). La línea de puntos indica el límite de completitud de cada muestra.

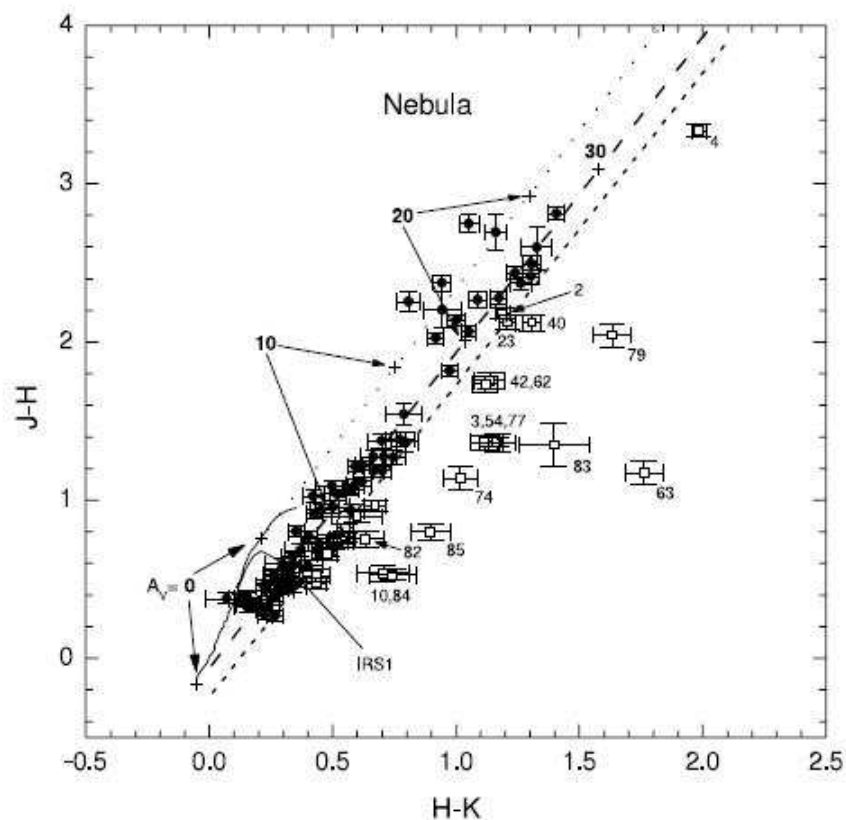


Figura 4.12: IRAS 17149–3916: Diagrama color-color. La localización de la Secuencia Principal y la de la Rama de las Gigantes son mostradas con línea de trazo continuo (Koornneef 1983). La línea de puntos y aquella de trazos largos corresponde a la banda de enrojecimiento para estrellas tanto de tipos espectrales tempranos como tardíos. La tercera línea de trazos cortos delimita la región en el diagrama color-color hacia la derecha del cual los autores consideran que los objetos detectados poseen excesos intrínsecos de color. Los números corresponden a la identificación de los candidatos miembros del (proto)cúmulo de acuerdo a la Tabla 2 del trabajo de Roman-Lopes & Abraham (2006). Figura tomada del trabajo de Roman-Lopes & Abraham (2006).

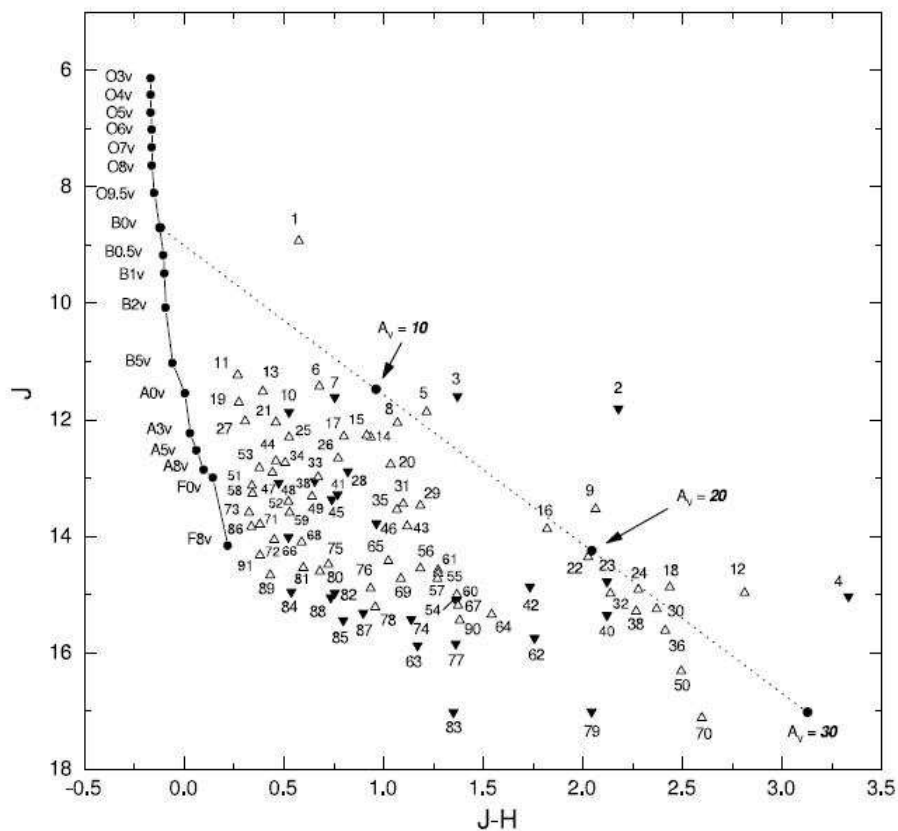


Figura 4.13: IRAS 17149–39163: Diagrama color-magnitud, J vs J–H. La línea continua indica la localización de la Secuencia Principal para una distancia de 1.6 Kpc. Los colores intrínsecos de los objetos de Secuencia Principal fueron obtenidos de Koornneef (1983), mientras que las magnitudes absolutas en la banda J fueron determinadas del trabajo de Hanson et al. (1997). El vector de enrojecimiento para una estrella de ZAMS de tipo espectral BO (línea de puntos) ha sido tomado de Fitzpatrick (1999). Con letras negras se indica la posición de $A_V = 10, 20, 30$ magnitudes de extinción visual, así como también las fuentes que presentan excesos (triángulos negros) y las que no lo presentan (triángulos abiertos) en el diagrama color-color. Los números corresponden a la identificación de los candidatos miembros del (proto)cúmulo de acuerdo a la Tabla 2 del trabajo de Roman-Lopes & Abraham (2006). Figura tomada del trabajo de Roman-Lopes & Abraham (2006).

4.6. Análisis de las Imágenes en Banda Angosta $B\gamma$ y H_2

Las Figuras 4.14 y 4.15 muestran las imágenes en H_2 y $B\gamma$ de las regiones IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916. Las imágenes en H_2 en $2.12 \mu\text{m}$ son utilizadas para detectar regiones de choque de los "jets" estelares¹². Estas imágenes y aquellas en Ks fueron examinadas exhaustivamente para cada fuente, detectándose la presencia de un posible nodo en el caso de la fuente IRAS 17149–3916.

La Figura 4.16 muestra las imágenes en las bandas H_2 , $B\gamma$, Ks y H, respectivamente, de la región de IRAS 17149–3916 en las cercanías del nodo, indicado con una flecha en la mencionada figura. Las coordenadas de este objeto son $\alpha = 17\text{h } 18\text{m } 23.5\text{s}$, $\delta = -39^\circ 18' 41.3''$, para J2000.0. Notar que el nodo es mucho más brillante en H_2 que en Ks. Recordar que el filtro Ks ($2.16 \mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 0.33 \mu\text{m}$) abarca al filtro H_2 ($2.125 \mu\text{m}$, $\Delta\lambda = 0.024 \mu\text{m}$), ver Capítulo 3. Notar, además, que a diferencia de las estrellas, el nodo presenta una morfología elongada, con un ángulo de posición de $\sim 315^\circ$ ¹³. Este nodo podría estar indicando la región de choque de un "jet" excitado por alguna de las estrellas jóvenes de la región. El ángulo de posición del nodo podría estar alineado con la dirección del hipotético "jet" o "outflow", aún no detectado. Imágenes de mayor resolución y sensibilidad en H_2 o en CO¹⁴ podrían detectar este "jet". Espectros en la banda Ks podrían confirmar la naturaleza del objeto detectado.

4.7. Resumen y Conclusiones

En este Capítulo se presentó un estudio de la fotometría en las bandas J, H y Ks de las regiones asociadas con las fuentes IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916. Mediante la construcción de los diagramas color-color J–H vs H–Ks y color-magnitud Ks vs H–Ks se identificaron objetos jóvenes en cada una de las regiones con excesos de color intrínseco, muy probablemente debido a la presencia de envolventes y discos circunestelares. Además, muchos de los objetos detectados se ubican a la derecha de la

¹²La línea del hidrógeno molecular en $2.12 \mu\text{m}$ es una de las más intensas en los espectros en el infrarrojo cercano de la región de choque o nodo de los "jets" estelares (ver, por ejemplo, Davis et al. 2010).

¹³El eje mayor de este nodo tiene dimensiones de $\sim 2''$, el menor de $\sim 0.6''$, coincidiendo aproximadamente con el FWHM de las estrellas cercanas al mismo.

¹⁴La molécula del Monóxido de Carbono (CO) es muy usada para trazar los "outflows" bipolares moleculares asociados con objetos jóvenes (ver, por ejemplo, Bachiller 1996).

Secuencia Principal, "llevada" a las respectivas distancias y con el monto promedio de enrojecimiento correspondiente a cada una de ellas. En el caso de IRAS 17149–3916 los resultados obtenidos en el presente Capítulo concuerdan y extienden los obtenidos precedentemente por Roman-Lopes & Abraham (2006).

Las distancias estimadas, de 9.6 kpc y 2.2 kpc, para las regiones de las fuentes IRAS 12272-6240 y IRAS 17149-3916, respectivamente, son consistentes a las distancias obtenidas por Beltran et al. (2006), quienes encuentran una distancia de 11.2 Kpc para IRAS 12272-6240 y 2.1 Kpc para IRAS 17149-3916, mientras que Roman-Lopes & Abraham (2006) adopta una distancia de 1.6 Kpc para IRAS 17149-3916.

Para IRAS 12272–6240, el 14 % de las fuentes (97 de 692) incluidas en el diagrama color-color J–H vs H–Ks presentan excesos intrínsecos de color. En tanto que 74 % (512 de 692) se ubican hacia la derecha de la Secuencia Principal en el diagrama color magnitud Ks vs H–Ks y, por lo tanto, son, muy probablemente, estrellas jóvenes no evolucionadas. La sensibilidad de las observaciones disponibles ha permitido detectar hasta estrellas de tipos espectrales F tardíos y G tempranos en esta región. En el caso de IRAS 17149–3916, 34 % de los objetos (242 de 719) presentan excesos intrínsecos de color. Además 80 % de la muestra (575 de 719) se ubican a la derecha de la Secuencia Principal. En este caso se han detectado estrellas hasta de tipos espectrales K intermedios.

También se pudo ver en los diagramas color-magnitud de ambas regiones que casi todas las fuentes con exceso de color intrínseco se encontraban a la derecha de la Secuencia Principal. Probablemente, se trataría de objetos jóvenes en distintas etapas evolutivas asociadas a una envoltura y/o disco circunestelar de gas y polvo. Esta diferencia importante entre objetos que se encuentran a la derecha de la Secuencia Principal con y sin excesos de color intrínseco, es decir, entre aquellas estrellas jóvenes con y sin envolturas y/o discos circunestelares, lleva a pensar que en ambas regiones, probablemente, estén actuando los procesos de formación estelar, el escenario de Acreción y el de "Merger", simultáneamente. De ser así, se confirmarían los resultados dados por las simulaciones numéricas de Bonnell & Batte (2002). Si bien esta sugerencia es bastante interesante, se deben realizar estudios con más detalles para asentar tal aseveración en fundamentos más sólidos.

Para ambas regiones se analizaron las imágenes en $B\gamma$ y H_2 . En el caso de IRAS 17149–3916, se detectó un nodo en este último filtro que probablemente indique la

región de choque de un flujo molecular bipolar o jet que emana de alguna de las estrellas jóvenes de la región.

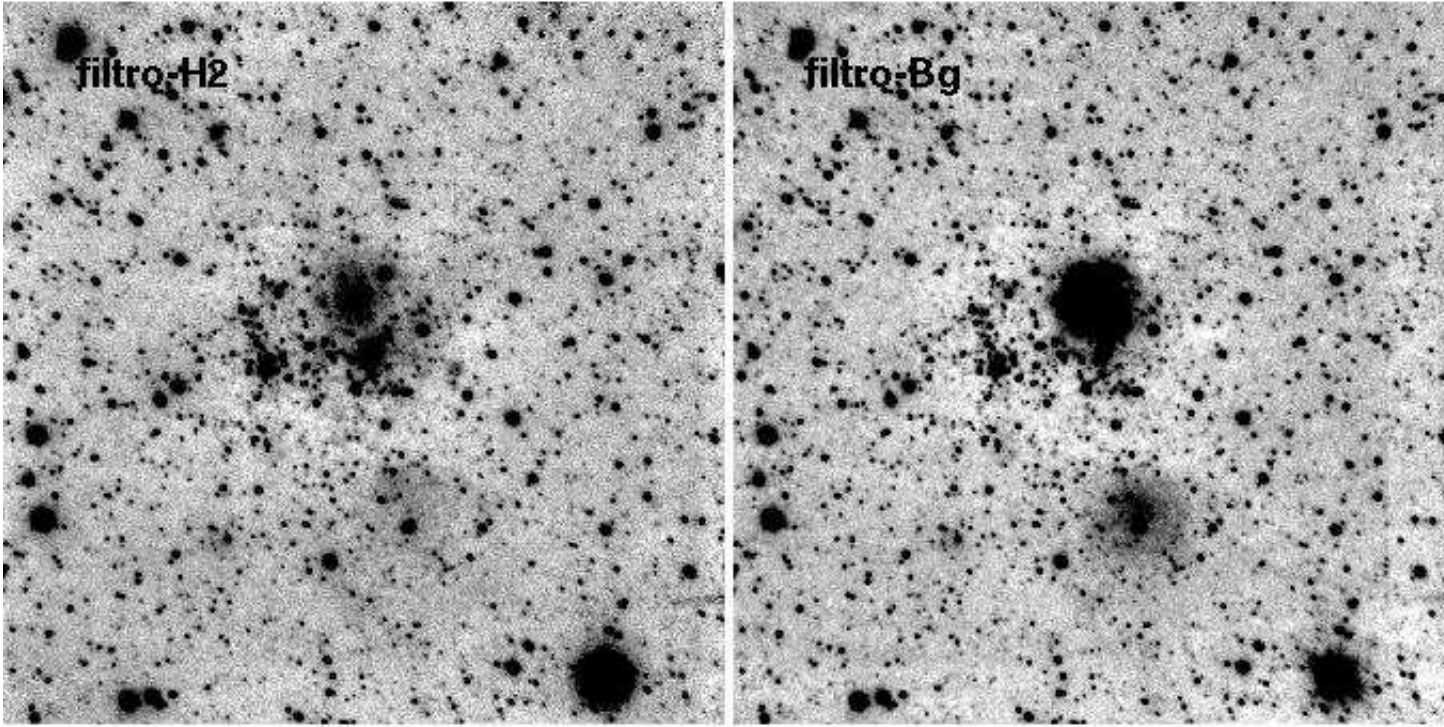


Figura 4.14: Imágenes en H_2 (panel izquierdo) y $B\gamma$ (panel derecho) de la región asociada con la fuente IRAS 12272–6240. El campo es de $\sim 2' \times 2'$. El Este está hacia la izquierda y el Norte hacia arriba.

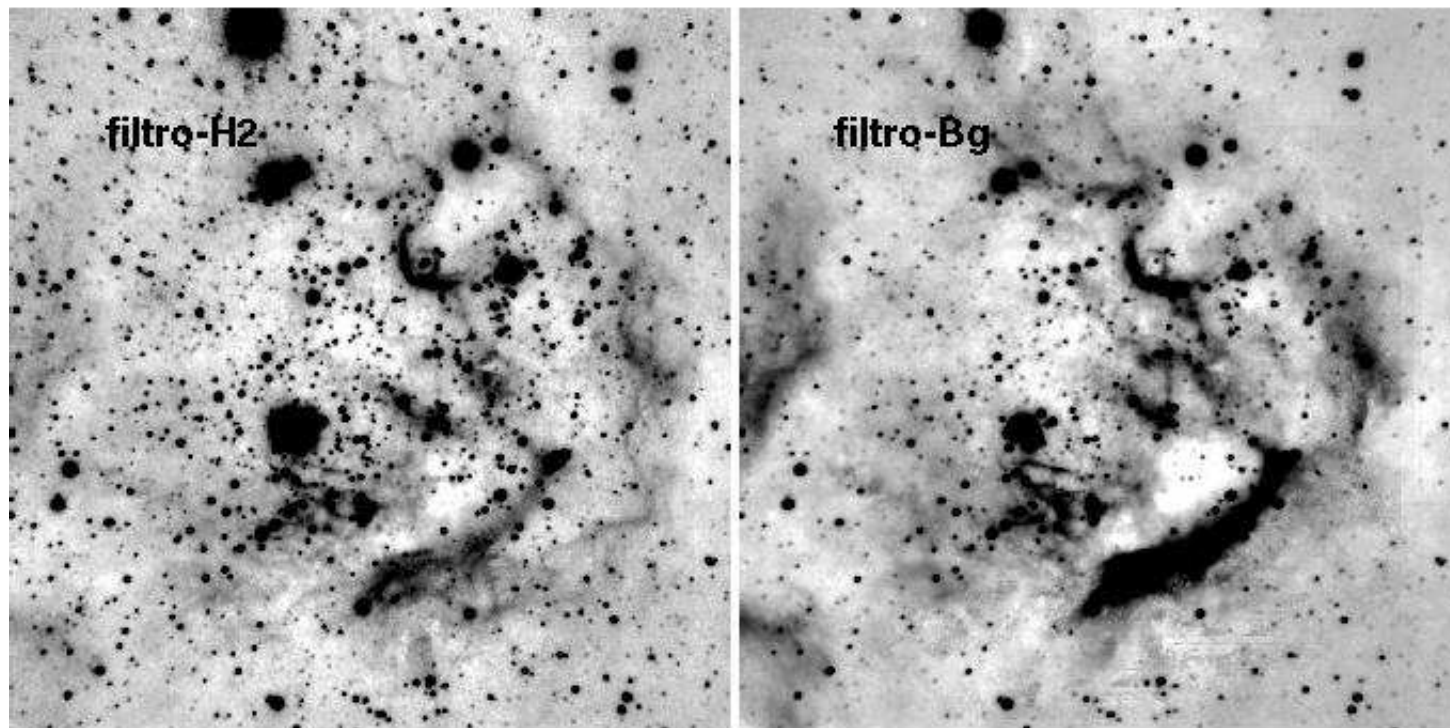


Figura 4.15: Imágenes en H_2 (panel izquierdo) y $B\gamma$ (panel derecho) de la región asociada con la fuente IRAS 17149–3916. El campo es de $\sim 2' \times 2'$. El Este está hacia la izquierda y el Norte hacia arriba.

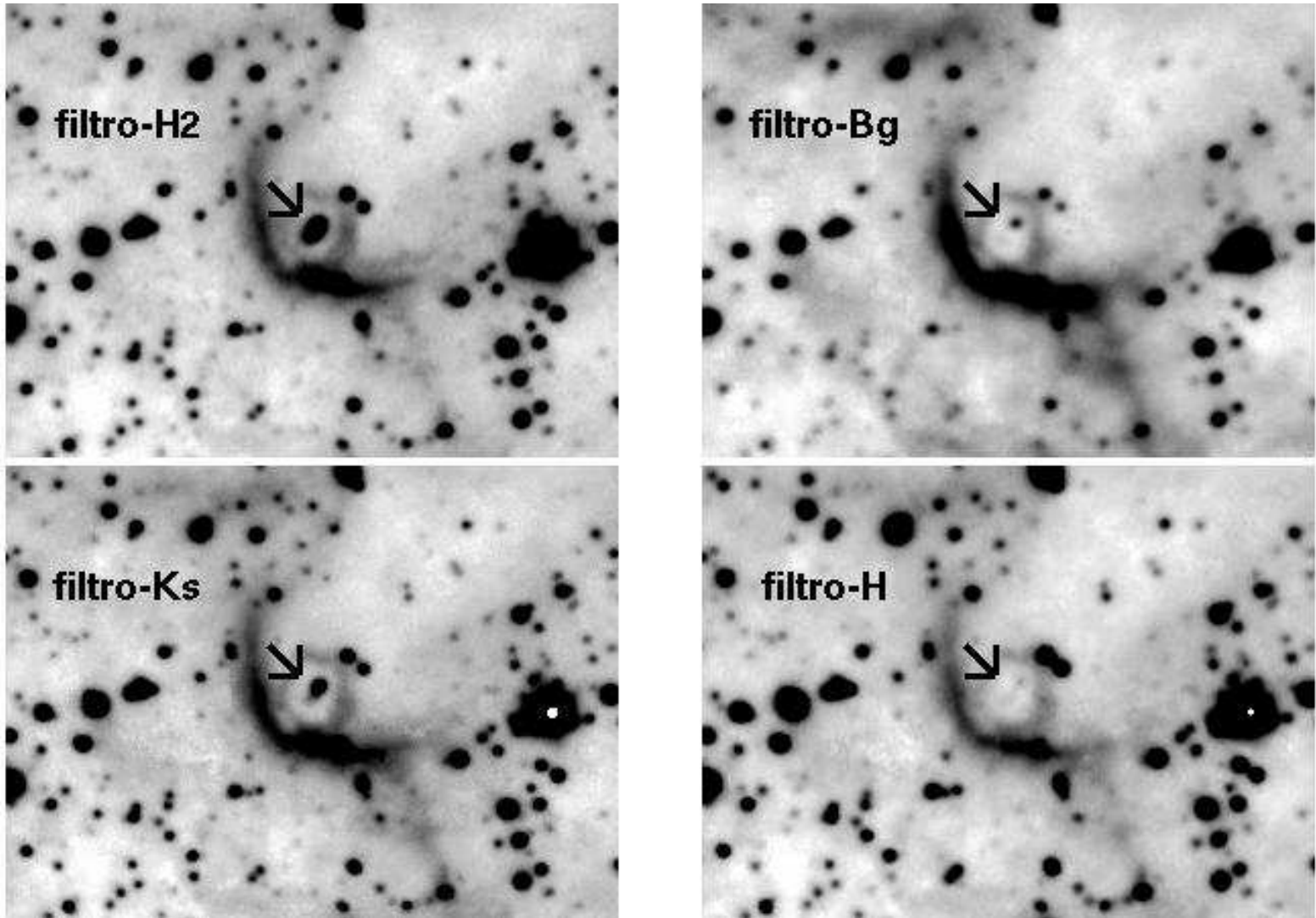


Figura 4.16: Imágenes en H_2 (panel superior-izquierdo), $B\gamma$ (panel superior-derecho) K_s (panel inferior-izquierdo) y H (panel inferior-derecho) de la región asociada con la fuente IRAS 17149–3916. La flecha indica la posición del nodo detectado en H_2 . El campo es de $\sim 30'' \times 30''$. El Este está hacia la izquierda y el Norte hacia arriba.

Capítulo 5

IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916 y la Formación de Estrellas Masivas

5.1. Introducción

Las estrellas de alta masa se forman, preferentemente, en proto-cúmulos (Lada & Lada 2003). Estos cúmulos están altamente extinguidos en el óptico y por lo tanto no son detectables en el rango visual. Para su estudio se requiere tanto de imágenes como de espectroscopía en el infrarrojo. En diferentes trabajos, Bica y colaboradores (ver, Dutra et al. 2003, Bica et al. 2003a, Bica et al 2003b) compilaron más de 600 objetos, candidatos a (proto)cúmulos jóvenes. Para ello, estos autores emplearon las imágenes de 2MASS y datos de la literatura. Por otra parte, una vez más, mencionamos el trabajo de Beltrán et al. (2006), donde se detectaron alrededor de 300 núcleos masivos pre-estelares, posibles progenitores de (proto)cúmulos estelares jóvenes.

Si bien los trabajos mencionados anteriormente son de importancia ya que identifican posibles lugares de formación de estrellas de gran masa, no proporcionan mayores detalles, más allá de las coordenadas y dimensiones angulares aproximadas de los objetos identificados. La determinación de las propiedades de las poblaciones estelares de un número significativo de (proto)cúmulos, especialmente en diferentes medios ambientes, puede servir a un mejor entendimiento de los procesos físicos, en gran escala, que operan en la formación de estos cúmulos y de las estrellas de gran masa que ellos albergan.

Imágenes bi-dimensionales profundas o de gran sensibilidad en el infrarrojo cercano que abarquen el área completa de o de los cúmulos en cuestión se transforman en una herramienta muy poderosa para determinar las propiedades de las poblaciones estelares asociadas. En el presente Trabajo Especial se exploró la utilidad de esta técnica para el estudio de regiones de formación de estrellas de gran masa.

5.2. Regiones de Formación de Estrellas Masivas y de Protocúmulos Asociados

IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916 están asociados con sendos cúmulos. En el Capítulo 4 se estudió la naturaleza de los objetos jóvenes asociados en un amplio rango de masas, a través del empleo del diagrama color-color J–H vs H–K y del diagrama color-magnitud K vs H–K, que permiten determinar el enrojecimiento y la naturaleza del mismo, ya sea interestelar o intrínseco (exceso de color), a cada estrella individual. Este estudio ha permitido confirmar la suposición de Beltrán et al. (2006), acerca de la asociación de estas regiones con estrellas de gran masa y (proto)cúmulos estelares jóvenes. Además, en el caso de IRAS 17149–3916, esto también confirma la existencia del mencionado (proto)cúmulo, sugerido por Dutra et al. (2003) en base a la inspección visual de las imágenes de 2MASS y extiende el análisis realizado por Roman-Lopes & Abraham (2006). Una vez más se confirma la asociación de máseres de agua y metanol con la presencia de estrellas de gran masa (Walsh et al. 1997, Pestalozzi et al. 2005).

5.3. Comparación con otras Regiones de Formación de Estrellas de Alta Masa

En esta sección se comentan los resultados obtenidos por otros autores que han utilizado imágenes en J, H y K para el estudio de regiones de formación de estrellas de gran masa y sus (proto)cúmulos asociados. En particular se eligen dos regiones: IRAS 09149–4743 (Ortiz et al. 2007) y G085.40–0.00 (Persi et al. 2011), ambas asociadas con sendos cúmulos embebidos. Si bien éste no pretende ser un análisis detallado o completo de todas las regiones estudiadas, da una idea del progreso alcanzado en los últimos años en la identificación y el estudio de las primeras etapas de formación de las estrellas de gran masa y de los (proto)cúmulos asociados.

5.3.1. IRAS 09149–4743

IRAS 09149–4743 yace en la dirección de la llamada Nube Molecular Ridge de Vela. Es una región de intensa emisión en CO que se extiende entre $l \sim 260^\circ$ – 373° y está confinada entre $\pm 2^\circ$ del plano galáctico (Murphy & May 1991). Esta nube molecular con forma de cresta ("ridge") está compuesta por cuatro nubes moleculares gigantes (identificadas como A, B, C y D) con masas que exceden las $10^5 M_\odot$, las cuales parecen estar situadas en el borde interno del brazo espiral local, el cual es visto tangencialmente en la dirección de Vela. En particular IRAS 09149–4743 está ubicada en la nube A, se encuentra asociada con una región HII con un tamaño de $5.2'$ (Caswell & Hayne 1987) y máseres de metanol detectados en la frecuencia de 6.7 GHz (Caswell et al. 1995, Walsh et al. 1997). Dutra et al. (2003), examinando las placas de 2MASS, detectaron un cúmulo con un diámetro de $1.2'$.

Ortiz et al. (2007) realizaron un relevamiento profundo en el infrarrojo cercano empleando la cámara CamIV del observatorio de "Pico dos Dias" (Brasil). Para las imágenes en J y H se usó un telescopio Boller & Chivens de 60 cm, en tanto que las imágenes en K fueron obtenidas con el telescopio Perkin-Elmer de 1.6m. El área total cubierta fue de $5.2' \times 4.3'$ en las bandas J y H y de $3.1' \times 3.5'$ en la banda K. Las magnitudes límite para una S/N ~ 10 son: J = 17.0, H = 16.3 y K = 15.0.

Las Figuras 5.1 y 5.2 muestran los diagramas color-color J–H vs H–K y color-magnitud K vs H–K de la región centrada en la posición de IRAS 09149–4743, respectivamente, en base al cual Ortiz et al. (2007) identifican 62 posibles miembros del (proto)cúmulos asociado. Consideran que su relevamiento es completo hasta estrellas de tipo espectral A5 (objetos con masa de alrededor de $2M_\odot$). Cuarenta y dos fuentes quedan por encima de este límite, en tanto que las restantes llegarían hasta los tipos espectrales M tempranos. Tanto el diagrama color-color como el diagrama color-magnitud sugieren una extinción óptica promedio de alrededor de 10 mag. Sin embargo, este valor podría incrementarse hasta 20 mag en zonas localizadas. Adicionalmente, Ortiz et al. identificaron tres posibles estrellas candidatas, responsables de la ionización de la región HII asociada.

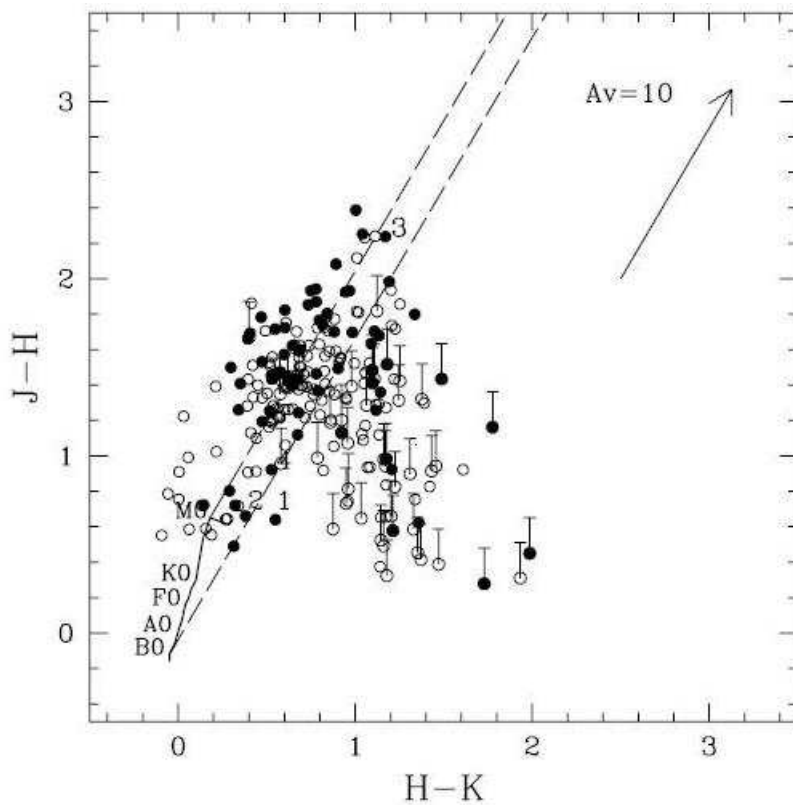


Figura 5.1: IRAS 09149–4743: Diagrama color-color. Los círculos llenos corresponden a las fuentes localizadas en la zona central del (proto)cúmulo, en tanto que los círculos vacíos a aquéllas en las zonas más externas del mismo. Las barras indican fuentes no detectadas en la banda J. La flecha indica el vector enrojecimiento y las líneas quebradas la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de la Secuencia Principal. Figura tomada del trabajo de Ortiz et al. (2007).

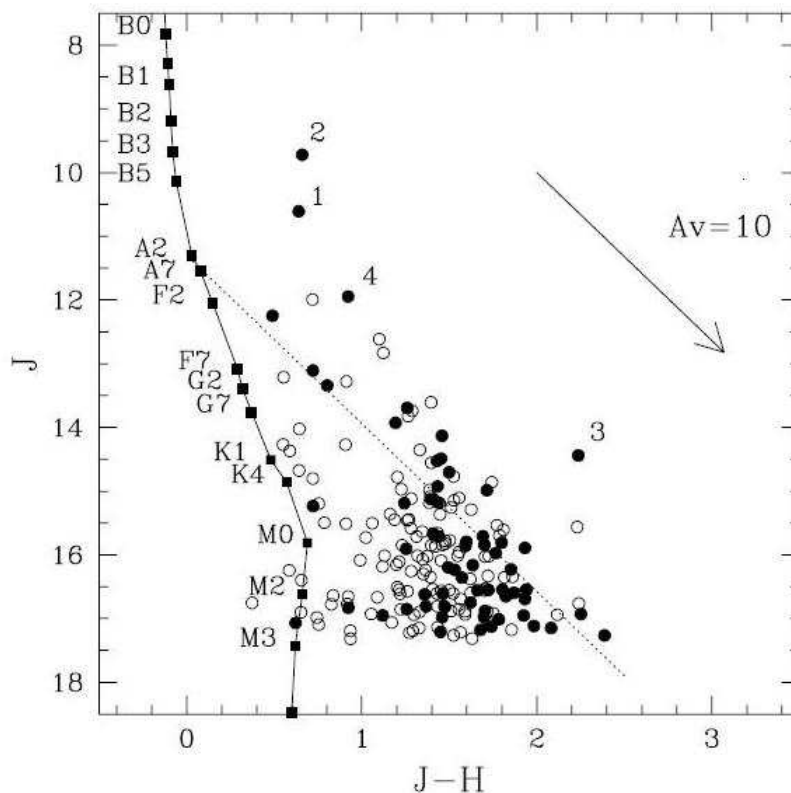


Figura 5.2: IRAS 09149–4743: Diagrama color-magnitud. Como en la Figura 5.1, los círculos llenos corresponden a las fuentes localizadas en la zona central del (proto)cúmulo, en tanto que los círculos vacíos a aquéllas en las zonas más externas del mismo. La línea de puntos delimita la región por encima de la cual la muestra es estadísticamente completa. La flecha indica el vector de enrojecimiento. También se indica la posición de la Secuencia Principal a la distancia de 1 Kpc. Los números indican fuentes identificadas por Ortiz et al. (2007) y especialmente analizadas en ese trabajo. Figura tomada del trabajo de Ortiz et al. (2007).

5.3.2. G085.40–0.00

G085.40–0.00 corresponde a la posición de un máser de metanol (detectado en 6.7 GHz) y catalogado por Pestalozzi et al. (2005). En la vecindad de la emisión de máser yace una región HII, observada y catalogada como G085.4102+00.0032 por Urquhart et al. (2009). Cambrésy et al. (2002) estudiando la distribución de la extinción en la región de las nebulosas de América del Norte y del Pelicano, empleando datos de 2MASS, detectaron un cúmulo, CBJC 8, en la región. Persi et al. (2011) presentan un relevamiento infrarrojo de la región con el objetivo de estudiar la población estelar de este cúmulo embebido para el cual estiman una distancia de 8 Kpc. Las observaciones fueron realizadas con el Telescopio Nazionale Galileo (TNG) en el Observatorio de Roque de los Muchachos en la isla La Palma (Canarias) de 3.58 m. Utilizando la cámara infrarroja NICS ("Infrared Camera Spectrometer") observaron un área de $\sim 111'' \times 111''$, alcanzando las siguientes magnitudes límites 20.5, 19.5 y 18.3, en J, H y K, respectivamente.

La Figura 5.3 muestra el diagrama color-color J–H vs H–K de la región. La Figura 5.4 corresponde a diagrama color-magnitud K vs H–K. En base a estos diagramas, Persi et al. (2011) identificaron 44 fuentes con exceso significativo para $\lambda \geq 2 \mu\text{m}$, lo cual confirma la existencia de un cúmulo extremadamente joven centrado en la posición de la región HII de G085.40–0.00. Para una de estas fuentes, identificada como G850A, la cual está asociada con un máser de metanol y con la región HII, estos autores proponen un modelo de envolvente y disco para reproducir su distribución espectral de energía (SED) de la misma.

5.3.3. Comparación de las Nuevas Regiones con las de la Literatura

En la Tabla 5.1 se presenta una comparación de las principales características entre las regiones IRAS 09149–4743 y G085.40–0.00 y las dos regiones analizadas en este trabajo, IRAS 12272–6240 e IRAS 17149–3916.

El diagrama color-color de la región asociada con IRAS 12272–6240 (Figura 4.5) es similar al de región de IRAS 09149–4743 (Figura 5.1) ya que una parte de las muestras se encuentran dentro de la banda de enrojecimiento y las otras yacen a la derecha de dicha banda evidenciando la presencia de excesos de color, muy probablemente debidos a la presencia de material circunestelar. Se puede notar, además, que

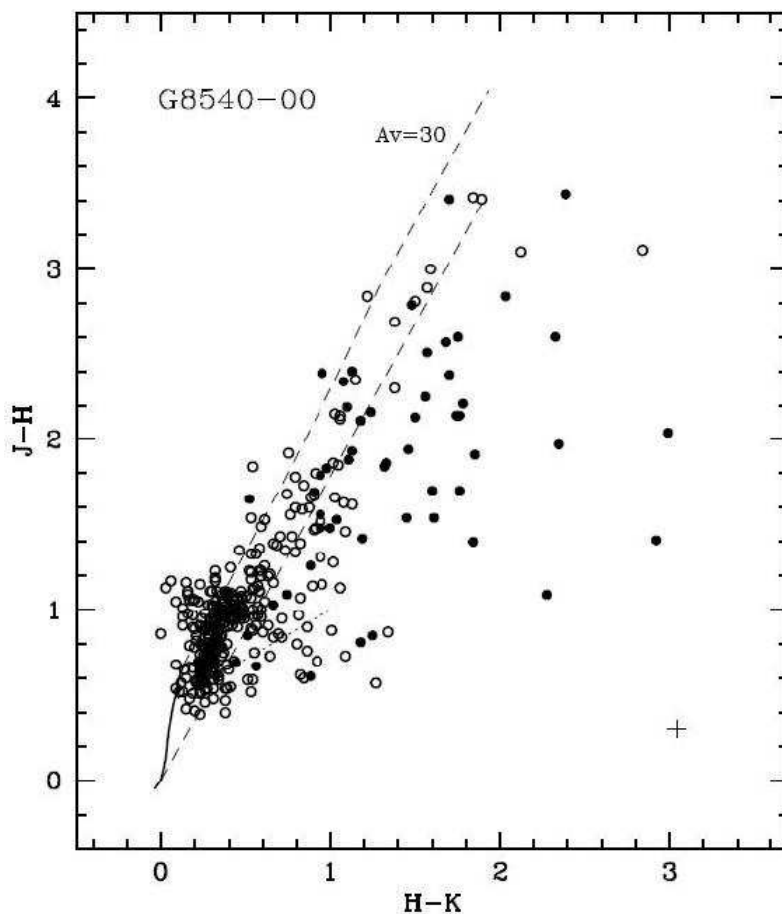


Figura 5.3: G085.40–0.00: Diagrama color-color. Los círculos llenos corresponden a fuentes localizadas dentro de un radio de $15.5''$ de los límites formales del cúmulo. Los círculos vacíos representan a fuentes que yacen fuera de este círculo. La línea continua indica la posición de la Secuencia Principal (Koornneef 1983) y las líneas quebradas, la banda de enrojecimiento que se extiende de los extremos de la Secuencia Principal, de acuerdo al vector de enrojecimiento de Reike & Lebofsky (1985). La cruz en el ángulo inferior derecho de la figura corresponde al error estadístico medio de las determinaciones individuales. Figura tomada del trabajo de Persi et al. (2011).

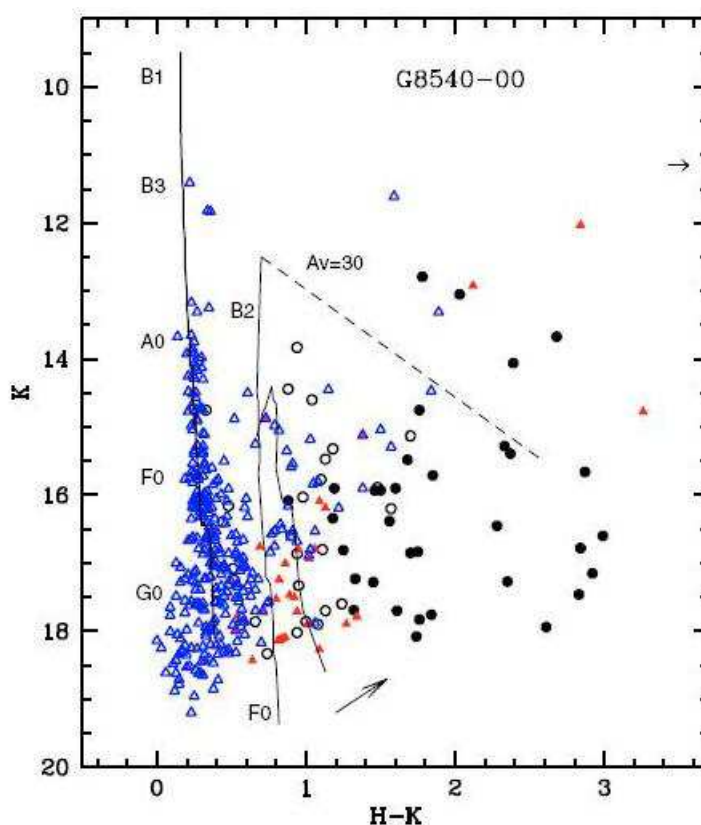


Figura 5.4: G085.40–0.00: Diagrama color-magnitud. Los círculos negros corresponden a fuentes que yacen dentro de $r < 15.5''$ y que poseen excesos de color significativos (en $\lambda > 2 \mu\text{m}$). La flecha pequeña apunta hacia la posición de una de las fuentes detectadas con $H-K = 5.39$. Los círculos de color negro abiertos tienen colores en JHK compatibles con los de una fotosfera estelar enrojecida. Las fuentes que yacen fuera del área del cúmulo son indicadas con triángulos. Los símbolos llenos indican fuentes con excesos y los abiertos sin excesos. La línea de trazos gruesos indica la localización de la Secuencia Principal obtenida de Koornneef (1983) para una distancia de 2.5 Kpc y un enrojecimiento de $E(H-K) = 0.2$, correspondiente a $A_V = 4.2$. La línea de trazo fino representa la ZAMS y la isócrona de 10^5 años tomada del trabajo de Palla & Stahler (1999) para una distancia de 8.0 Kpc y un enrojecimiento de $E(H-K) = 0.75$ ($A_V = 12.5$), parámetros que parecen corresponder a los miembros del cúmulo sin excesos en el infrarrojo. La línea de trazo quebrado define el vector de enrojecimiento de Rieke & Lebofsky (1985) y la flecha larga indica la pendiente promedio producida por la presencia de discos alrededor de objetos estelares jóvenes, determinada por Salas et al. (2006). Figura tomada del trabajo de Persi et al. (2011).

Tabla 5.1: Comparación de las Características entre Distintas Regiones

Región	IRAS 09149–4743	G085.40–0.00	IRAS 12272–6240	IRAS 17149–3916
Propiedades				
Nº total de objetos detectados	~ 230	402	1000	838
Muestra en el diag. color-color	~ 230	396	692	719
Distancia estimada [Kpc]	1	8	9.6	2.2
A_V [mag]	10	12.5	2.0	5.5
Nº de fuentes con exceso	62	59	97	242
Nº de objetos jóvenes	~ 230	130	550	532
Rango espectral	B0-M0	B3- G9	O6-G0	O5-K5

la muestra asociada con IRAS 12272–6240 está menos afectada por extinción que la muestra de Ortiz et al., a pesar de que la primera se encuentra a una distancia mucho mayor que la segunda. Por otro lado, se puede observar que los diagramas color-magnitud (ver Figuras 4.9 y 5.2) de ambas regiones son similares, ya que una pequeña cantidad de objetos se encuentran sobre la Secuencia Principal, mientras que la gran mayoría yacen a la derecha de la misma. El 80 % de los objetos detectados en la región de IRAS 12272–6240 y prácticamente el 100 % de aquéllos en la de IRAS 09149–4743 se ubican hacia la derecha de la Secuencia Principal. El hecho de que la gran mayoría de los objetos aún no hayan llegado a la Secuencia Principal indicaría que en ambas casos se trataría de protocúmulos extremadamente jóvenes.

Se detectan objetos hasta de tipos espectrales G tempranos en la región de IRAS 12272–6240, mientras que en IRAS 09149–4743 se encuentran objetos de hasta tipos espectrales M tempranos. La primera región yace a una distancia casi 10 veces mayor que la segunda, si bien está afectada por sólo 2 magnitudes de extinción en tanto que este monto asciende a 10 magnitudes para el caso de IRAS 09149–4743.

Haciendo una comparación similar entre las regiones asociadas con las fuentes IRAS 17149–3916 y IRAS 09149–4743 puede verse que sus diagramas color-color y color-magnitud presentan las mismas características mencionadas en la comparación anterior (comparar Figuras 4.6 y 5.1 y Figuras 4.10 y 5.2). La gran profundidad de las observaciones obtenidas para la región de IRAS 17149–3916 permite detectar objetos de tipos espectrales K intermedios, comparable a lo que ocurre para la región de IRAS 09149–4743. Notar que la mayor distancia de IRAS 17149–3916 con relación a IRAS 09149–4743, en cierta manera, es compensada por un monto menor de extinción.

Comparando el diagrama color-color de IRAS 12272–6240 con el de G085.40–0.00 (ver Figuras 4.5 y 5.3) se puede ver que son bastante similares, donde buena parte de los objetos se encuentran muy cerca de la rama de la Secuencia Principal. Se encuentra en ambas regiones casi el mismo porcentaje (14-15 %) de fuentes con enrojecimiento intrínseco. En cuanto a los diagramas color-magnitud (ver Figura 4.9 y 5.4), las distribuciones de los objetos en ambos casos es bastante similar, sin embargo, el porcentaje de objetos a la derecha de la Secuencia Principal en el diagrama de IRAS 12272–6240 es considerablemente mayor al de G085.40–0.00. El hecho de que gran parte de la muestra de la región IRAS 12272–6240 todavía no haya llegado a la Secuencia Principal, en comparación a la muestra de G085.40–0.00 indicaría que la primera región sería mucho más joven que la segunda. Por último, a pesar de que IRAS 12272–6240 se encuentre más lejos que el protocúmulo asociado con G085.40–0.00, está afectado por un monto considerablemente menor de extinción; a esto se debe, principalmente, que en ambas regiones se detecten objetos de tipos espectrales similares (G tempranos en IRAS 12272–6240 y G tardíos en G085.40–0.00).

En cuanto a la comparación de IRAS 17149–3916 con G085.40–0.00, las Figuras 4.6 y 5.3 muestran características muy similares. Sin embargo se obtuvo un porcentaje de objetos con enrojecimiento intrínseco mayor para IRAS 17149–3916 que para G085.40–0.00. Por otro lado, se ha podido detectar objetos dentro de un mismo rango espectral en ambas regiones, desde G tardíos hasta B tempranos.

5.4. Perspectivas de Trabajos Futuros

En la presente sección se mencionan algunos de los trabajos futuros que se planea realizar a fin de complementar y extender el estudio de las dos regiones analizadas en el presente Trabajo Especial. Se espera, por un lado, mejorar el análisis de los datos presentados en este trabajo, obtener nuevas observaciones y, por el otro, realizar el modelado de las distribuciones espectrales de energía de alguna de las fuentes detectadas.

5.4.1. Análisis Observacional

1. *Fotometría Empleando la Función de Punto Extendida (PSF)*. Una de las tareas que se espera realizar es la obtención de la fotometría de ambas regiones utilizando la técnica de la PSF (Point-Spread Function). Si bien no se espera que

esto modifique las principales conclusiones de este trabajo, sí puede mejorar la precisión de las magnitudes de los objetos más débiles y, presumiblemente, de menor masa detectados.

2. *Espectroscopía infrarroja con Gemini*. Espectros en el infrarrojo cercano que podrían ser obtenidos con el instrumento FLAMINGOS-2 ("multi-object spectrograph") del telescopio Gemini Sur. Estos espectros serían de gran utilidad para obtener evidencias adicionales sobre la posible naturaleza de pre-secuencia principal de la gran mayoría de los objetos de baja masa identificados en ambas regiones.
3. *Imágenes de Alta Resolución en H₂ de IRAS 17149–3916*. FLAMINGOS-2 de Gemini Sur permitirá también tomar imágenes en el infrarrojo cercano de un campo de $\sim 6.1'$ de diámetro. En particular, las imágenes en H₂ (2.12 μm) posibilitarán la detección del hipotético "jet" o "outflow" (ver Figura 4.16).
4. *Datos de Spitzer para IRAS 12272–6240*. Datos de IRAC ("Infrared Array Camera") en [3.6], [4.5], [5.8], [8.0] μm permitirán construir diagramas de diagnóstico en el infrarrojo medio, tales como [3.6]–[4.5] vs [5.8]–[8.0] (Allen et al. 2004) o [3.6] vs [3.6]–[4.5] (ver, por ejemplo, Caramazza et al. 2008). Estos diagramas proporcionarán evidencias adicionales sobre la naturaleza de pre-secuencia principal de los candidatos detectados en ambas regiones. La Figura 5.5 muestra una imagen, combinación de las bandas [3.6] (azul), [4.5] (verde) y [8.0] μm (azul), obtenida con la cámara IRAC de Spitzer.

5.4.2. Modelado de Distribuciones Espectrales de Energía (SEDs)

El modelado de las SEDs o distribuciones espectrales de energía (SED "Spectral Energy Distribution") de al menos algunos de los objetos jóvenes identificados, permitirá determinar las propiedades de los discos y/o de las envolventes en estos objetos en formación y proporcionará evidencias claves en favor del mecanismo de acreción.

Para la construcción de las SEDs se utilizarán observaciones en un amplio rango espectral (desde el óptico al milimétrico), provenientes de diversas bases de datos públicas tales como: Simbad, ESO, HST, Gemini, Spitzer, ISO, etc., y de la literatura, además de las magnitudes en J, H y Ks presentadas en el Apéndice D de este trabajo.

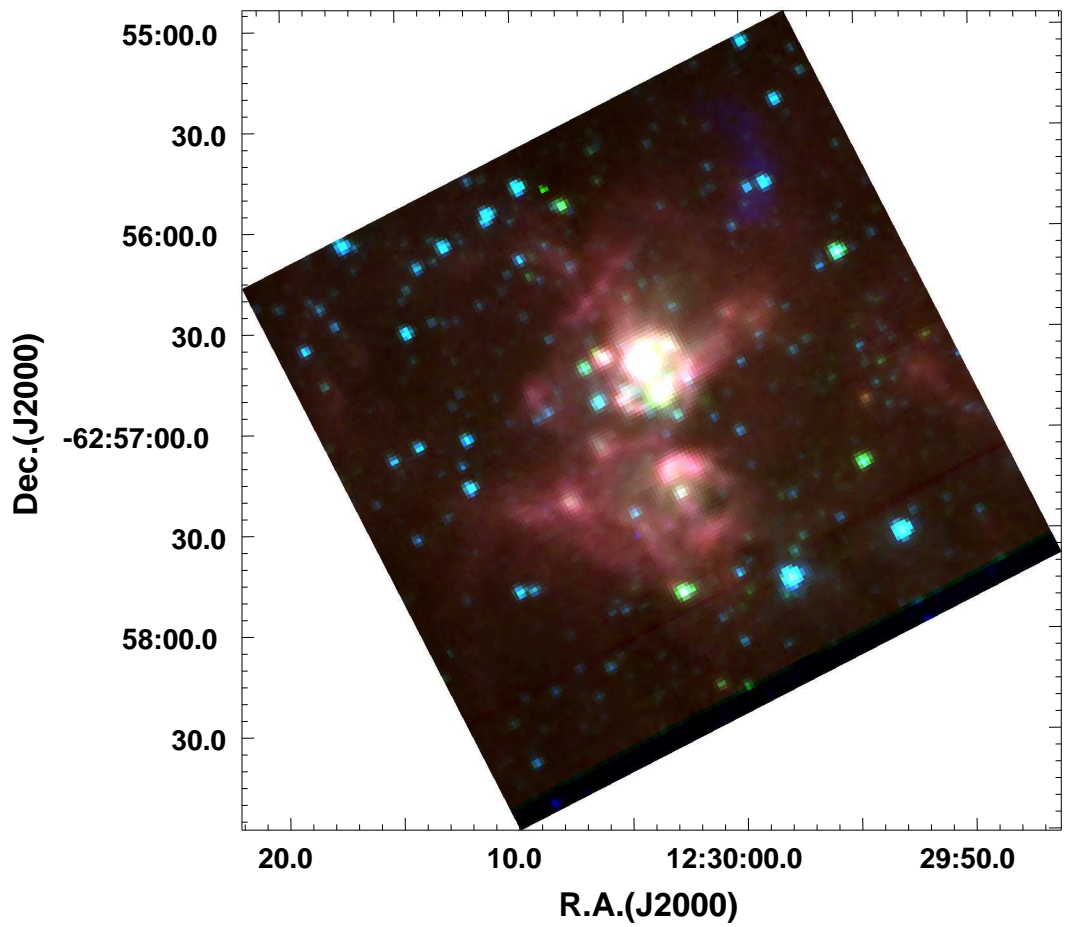


Figura 5.5: IRAS 12272–6240: Imagen combinada, en colores falsos, de los filtros [3.6] (azul), [4.5] (verde) y [8.0] μm (azul) de la cámara IRAC de Spitzer.

Para el modelado de las mismas se empleará el código de Whitney et al. (2003a,b), el cual permite introducir una configuración proto-estelar completa que incluye tanto discos como envolventes colapsante con cavidades, tales como las que se detecta en los objetos en formación (Robitaille et al. 2006, 2007).

El código de Whitney et al. adopta el modelo conocido como "TSC" (Terebey, Shu, Cassen 1984) para describir el colapso protoestelar. El transporte radiativo es calculado a través del método de Monte Carlo. Este código incorpora discos de acreción y envolventes con cavidades bipolares, como los que usualmente se detectan en objetos jóvenes en formación (ver, por ejemplo, Padgett et al. 1999, Cesaroni et al. 2007).

El empleo de la grilla de Robitaille et al. (2006, 2007) permitirá explorar, en un espacio multi-paramétrico de 16 variables, todas las configuraciones protoestelares posibles y obtener, para cada caso, un modelo inicial, el cual será refinado mediante la aplicación directa del código de Whitney et al. (2003a,b). Los 16 parámetros de la grilla de Robitaille et al. (2006, 2007) son: parámetros de la fuente central, masa estelar (M_*), radio (R_*), temperatura (T_*); parámetros del disco, masa del disco (M_{disco}), radio interno (R_{min}), radio externo del disco (o radio centrífugo, R_c), tasa de acreción de masa del disco (\dot{M}_{disco}), escala de altura "fiducial" del disco (z_{01}), exponente de la densidad radial del disco (A), exponente de la escala de altura del disco (B); parámetros de la envolvente, tasa de acreción de la envolvente (\dot{M}), radio externo de la envolvente (R_{max}), densidad dentro de la cavidad (ρ_{cav}), ángulo de apertura de la cavidad (θ^*).

A modo de ejemplo en las Figuras 5.6 y 5.7 se muestran las distribuciones espectrales de energía (SEDs) de las estrellas de gran masa asociadas con IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916, respectivamente. Las cruces indican los flujos tomados de 2MASS, MSX, IRAS, etc. Como referencia, con línea de puntos, se indica el modelo de atmósfera de Kurucz (1994) adoptado para cada una de las fuentes. En el caso de IRAS 12272–6240 (Figura 5.6) el modelo de Kurucz seleccionado corresponde a una estrella de tipo espectral B0 con temperatura de 30000 K, luminosidad de $2.75 \times 10^5 L_{\odot}$, ubicada a una distancia de 2.2 Kpc. Para la fuente IRAS 17149–3916 se eligió la atmósfera de Kurucz de una estrella de tipo espectral O5V-O6V, temperatura de 40000 K, luminosidad de $8.7 \times 10^5 L_{\odot}$, situada a una distancia de 9.6 Kpc. Los valores de estos parámetros se corresponden con los determinados por Roman-Lopez & Abraham (2006) para este objeto. Cabe remarcar que los modelos de Kurucz sólo proporcionan una primera aproximación a la fotosfera estelar de cada una de las fuentes

analizadas. En un futuro próximo se espera realizar una selección más detallada y apropiada de sendos modelos. No obstante, puede verse que ambas SEDs muestran excesos de emisión muy marcados en la región infrarroja y sub-mm del espectro, con relación a los valores fotosféricos, lo cual podría sugerir la presencia de envolventes y/o discos alrededor de estos objetos en formación. Se espera en un futuro próximo modelar ambas SEDs a fin de verificar esta suposición.

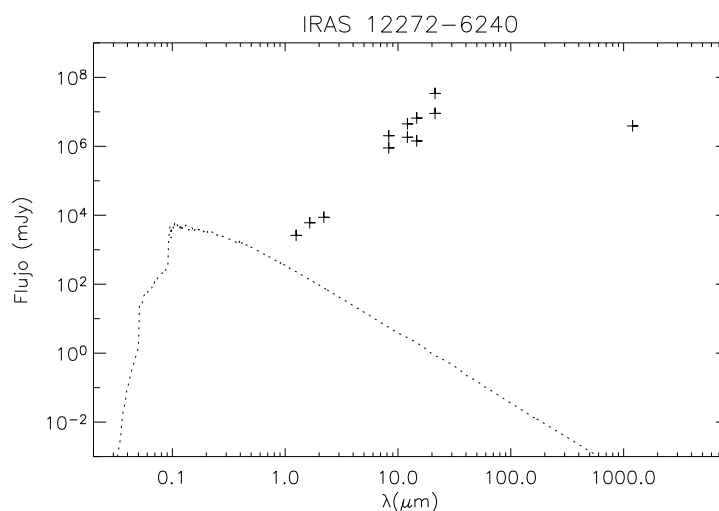


Figura 5.6: Distribución espectral de energía (SED) de la fuente IRAS 12272–6240. Las cruces corresponden a los flujos observados tomados de 2MASS, MSX, IRAS y del trabajo de Beltrán et al. (2006). La línea de puntos representa el modelo de Kurucz para una estrella de tipo espectral B0, $T_e = 30000$ K y luminosidad de $2.75 \times 10^5 L_\odot$, a una distancia de 2.2 Kpc. Notar que para esta fuente se han graficado los flujos determinados por MSX que corresponden a las dos fuentes que yacen dentro de la elipse de incerteza de IRAS. Si bien no podemos determinar cuál es la fuente MSX correspondiente a IRAS 12272–6240, la figura muestra que en ambos casos se detectan excesos de color muy significativos.

La Figura 5.8 muestra la ubicación de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916 en el diagrama color-color. Notar que si bien ambas fuentes evidencian excesos de color en el infrarrojo cercano estos son muy moderados. Sin embargo los excesos en el infrarrojo medio y lejano son muy importantes (ver Figuras 5.6 y 5.7), lo cual podría sugerir que algunos de los objetos que no presentan muestras claras de la presencia de discos en el infrarrojo cercano sí lo podrían hacer en longitudes de onda mayores. Esta es una de las razones para el estudio de los datos de Spitzer en un futuro próximo como se mencionó en la Sección 5.4.1.

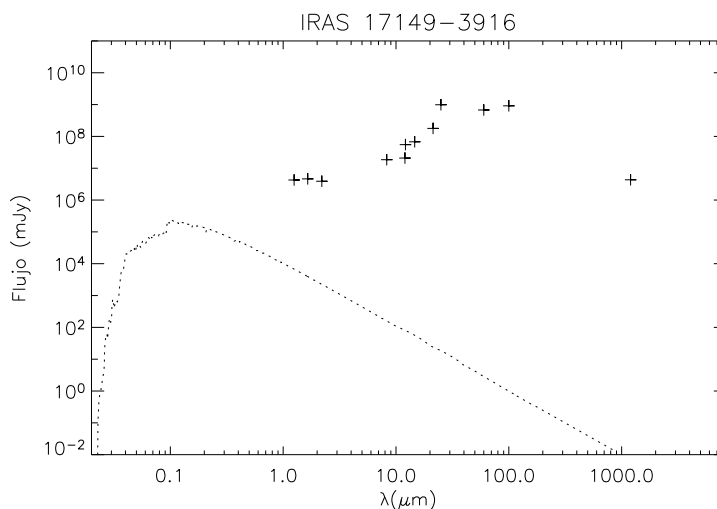


Figura 5.7: Distribución espectral de energía (SED) de la fuente IRAS 17149–3916. Las cruces corresponden a los flujos observados tomados de 2MASS, MSX, IRAS y del trabajo de Beltrán et al. (2006). La línea de puntos representa el modelo de Kurucz para una estrella de tipo espectral O5V-O6V, $T_e = 40000$ K y luminosidad de $8.7 \times 10^5 L_\odot$, situada a una distancia de 9.6 Kpc.

5.4.3. Escenarios de Formación de las Estrellas Masivas

El análisis de los datos disponibles ha permitido identificar algunos objetos, potencialmente de alta masa, que evidenciarían excesos intrínsecos de color y otros que, por el contrario, no presentan tales excesos. Como ejemplos del primer caso podemos nuevamente mencionar las SEDs de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916, mostradas en las Figuras 5.6 y 5.7. Los diagramas color-color y color-magnitud de las Figuras 4.5, 4.6, 4.9 y 4.10 muestra ejemplos de estrellas candidatas de gran masa sin excesos significativos de color. Sin embargo la posible naturaleza de pre-secuencia principal de estos objetos debe ser confirmada con observaciones adicionales.

Las SEDs de IRAS 12272–6240 y de IRAS 17149–3916 favorecerían al mecanismo de acreción para la formación de estrellas masivas, en tanto que para los otros objetos se favorecería al mecanismo de colisión para la formación de las estrellas de alta masa, ya que es difícil sostener la presencia de los discos (representados por los excesos intrínsecos de color) en el marco de las colisiones de los embriones estelares. Ese resultado preliminar, de confirmarse, sería muy sorprendente porque podría estar indicando que ambos mecanismos operan en ambas regiones.

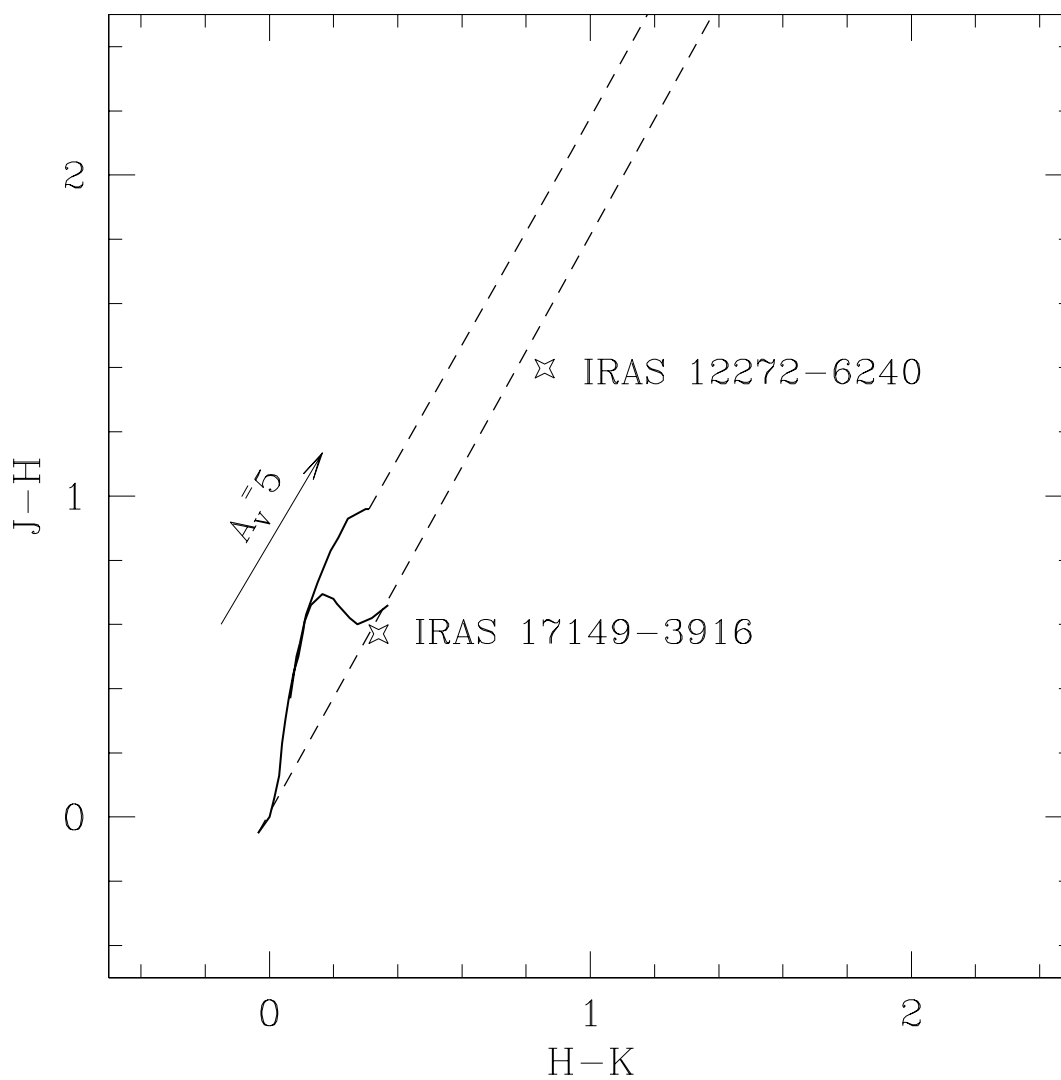


Figura 5.8: Diagrama color color $J-H$ vs $H-K$ s indicando la posición de IRAS 12272–6240 e IRAS 17149–3916. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de la Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 5 magnitudes.

Para la confirmación de esta hipótesis es necesario disponer de nuevas observaciones que permitan, por ejemplo, determinar los tipos espectrales de las potenciales estrellas de gran masa. Otro de los datos observaciones claves es el análisis de la fotometría en las bandas IRAC de Spitzer (disponibles para la fuente IRAS 17149–3916), ya que permitiría confirmar la presencia de posibles excesos de color.

5.5. Comentarios Finales

En el presente Capítulo se ha destacado la importancia del empleo de imágenes en las bandas J, H y K para el estudio de la población estelar de los protocúmulos asociados con estrellas de gran masa. Los diagramas color-color y color-magnitud que se construyen a partir de estos datos están siendo muy utilizados con este fin. Como ejemplo seleccionamos dos regiones IRAS 09149–4743 (Ortiz et al. 2007) y G085.40–0.00 (Persi et al. 2011) para comparar con los análisis presentados para IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916.

En la sección de las perspectivas futuras de trabajo se mencionan los probables trabajos futuros tendientes a mejorar nuestro conocimiento de estas regiones. En particular sería de gran interés poder dilucidar si es posible o no que tanto el mecanismo de acreción como el de colisiones operen en forma simultánea en una misma región. El estudio de este tema será uno de los objetivos de la Beca Doctoral de CONICET que se espera desarrollar próximamente.

Conclusiones

En este Trabajo Especial de la Licenciatura en Astronomía se ha presentado un estudio en el infrarrojo cercano de dos posibles regiones de formación de estrellas de gran masas y sus (proto)cúmulos asociados seleccionados del trabajo de Beltran et al. (2006). Las regiones estudiadas son IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916, para las cuales se dispusieron de imágenes en los filtros J($1.25 \mu\text{m}$), H($1.65 \mu\text{m}$) y Ks ($2.16 \mu\text{m}$), obtenidas con el telescopio Baade (Las Campanas, Chile). Se construyeron los diagramas color-color, J–H vs H–Ks y, con ayuda de las distancias estimadas (9.6 Kpc para IRAS 12272–6240 y 2.2 Kpc para IRAS 17149–3916) se elaboraron los diagramas color-magnitud Ks vs H–Ks de ambas regiones. Estos diagramas permiten la identificación de potenciales cúmulos jóvenes asociados con cada una de las fuentes IRAS y la selección de estrellas jóvenes en formación en un amplio rango de masas. Además de las magnitudes y colores se determinan las coordenadas ecuatoriales celestes de cada una de las fuentes. En total se determinan 97 y 242 fuentes con $K_s < 19$, en la región de IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916, respectivamente, con excesos de color, típicos de estrellas jóvenes rodeadas por envoltentes y/o discos circunestelares. También se identificaron las estrellas masivas ($M > 8M_{\odot}$) en cada una de las regiones, algunas más evolucionadas que otras, donde la más masivas corresponderían a un tipo espectral O5-6. La naturaleza de pre-secuencia principal de estos objetos podrá ser confirmado en un futuro próximo mediante espectroscopía infrarroja con el telescopio Gemini.

El análisis de los diagramas color-color y color-magnitud muestran que en ambas regiones existe un número importante de fuentes con y sin excesos de color intrínseco, de confirmarse la pertenencia de ambos grupos de objetos a los protocúmulos identificados. El hecho de que el número de objetos a la derecha de la Secuencia Principal en los diagramas color-magnitud de ambas regiones sea considerablemente mayor (en especial en la región de IRAS 12272–6240) al número de objetos con exceso de color intrínseco detectados en los diagramas color-color, podría sugerir que en la misma

región "conviven" simultáneamente objetos jóvenes con y sin disco. Esto estaría diciendo que serían igualmente factible los mecanismos de "merger" y de acreción para la formación de estrellas de alta masa. Esta sugerencia, si bien muy interesante, debe ser explorada con más detalle y fundamentada sobre argumentos más sólidos que los actualmente disponibles. El Plan de Trabajo propuesto para la beca doctoral de CONICET contempla este aspecto.

También se analizan imágenes en $B\gamma$ e H_2 obtenidas con el telescopio Baade. $B\gamma$ delinea la región de emisión del hidrógeno atómico en cada región. En el caso de IRAS 12272–6240, aparece como una emisión difusa de morfología esférica, en tanto que para IRAS 17149–3916, se trata de estructuras más elongadas. Una de las fuentes, IRAS 17149–3916, evidencia la presencia de un nodo pequeño y compacto de emisión en H_2 , que posiblemente trace la región de choque de un jet estelar aún no detectado. Imágenes de mayor resolución y sensibilidad en $2.12 \mu\text{m}$ podrían confirmar esta hipótesis.

En el análisis presentado de estas dos regiones se lograron alcanzar todos los objetivos propuestos en este Trabajo Especial, contribuyendo a una mejor comprensión de la formación de las estrellas de gran masa, evento que no puede ser observado en la región óptica del espectro ya que ocurre en el interior de las nubes moleculares, oscurecido por el propio material (polvo) de las mismas. En un futuro próximo se espera extender el estudio de ambas regiones mediante la adquisición de nuevos datos y el modelado de las fuentes detectadas con excesos de color atribuibles a la presencia de discos y/o envolventes.

APÉNDICES

Apéndice A

Indicadores de la Formación de Estrellas Masiva

A.1. Introducción

En el presente Apéndice se describen, en forma sintética, eventos o fenómenos considerados *indicadores* (*"signatures or singspots"*) de la formación de estrellas de gran masa mencionados, principalmente, en los Capítulos 1 y 3 del presente Trabajo Especial. Estos indicadores sirven, como se dijo, para la identificación de regiones de formación de este tipo de estrellas.

A.2. Núcleos Moleculares Densos "Dense Cores" o Núcleos Pre-Estelares

Los llamados *Núcleos Moleculares Densos* o *"Dense Cores"* son zonas de alta densidad del gas molecular que, por lo general, se encuentran embebidos o incrustados en las nubes moleculares gigantes, oscurecidos en el óptico por decenas a centenas de magnitudes de extinción. Se trata, como se dijo, de objetos de alta densidad media ($n \sim 10^{4-5} \text{cm}^{-3}$), baja temperatura ($T \sim 10\text{K}$) y dimensiones relativamente pequeñas ($d \sim 0.1 \text{pc}$). Estos núcleos poseen masas desde algunas pocas masas solares a decenas de masas solares. También se conocen los llamados *"hot cores"* con $T \sim 100\text{K}$, densidades más elevadas ($n \sim 10^{7-9} \text{cm}^{-3}$) y más masivos, con masas entre 100-1000 M_{\odot} . Estos núcleos son considerados los lugares de formación de las estrellas masivas.

Los llamados *Núcleos Pre-estelares*, por el contrario, son identificados con los estadios más tempranos del proceso de formación de las estrellas de gran masa. Son pequeñas nubes (ligadas gravitacionalmente) que están sometidas a una contracción gravitatoria cuasi-estática. Los núcleos pre-estelares son los estadios menos entendidos en la formación de estrellas masivas (Garay & Lizano 1999). Estos núcleos no poseen aún una proto-estrella formada en su interior y, por lo tanto, no pueden ser detectados como fuentes en el infrarrojo cercano ($\lambda < 2\mu\text{m}$).

Muy probablemente las estrellas de gran masa no permanecen en el estadio de núcleo pre-estelar por más de 10^6 años. En consecuencia, estos núcleos son raros y difíciles de detectar (Churchwell 2002). En la Figura A.1 se presenta una imagen en escala de grises del núcleo pre-estelar conocido como L1551 MC. Los grises más oscuros corresponden a las regiones más densas.

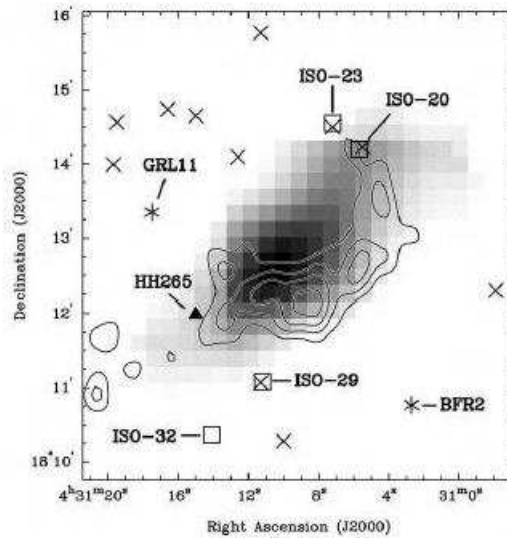


Figura A.1: Núcleo pre-estelar L1551 MC. La escala de grises corresponde a la emisión del NH_3 superpuesta a los contornos de C_2S . La zona más oscura indica la región de mayor densidad. Las cruces, asteriscos y cuadrados corresponden a fuentes puntuales detectadas por diversos relevamientos en la región. Esta figura ha sido tomada del trabajo de Swift & Welch (2005).

A.3. Regiones HII Ultra-Compactas (UC HII)

Las regiones HII son regiones de las nubes moleculares donde el hidrógeno y otros átomos se encuentran en estado ionizado. Generalmente, estas regiones se localizan entorno a estrellas muy calientes como las estrellas de tipo OB azules. Éstas emiten grandes cantidades de radiación ultravioleta hacia la nube circundante donde se encuentran embebidas, ionizando las partículas del gas neutro. Las regiones HII son observadas en las líneas de la serie de Balmer (H_α , H_β , H_γ , etc.), ya que las partículas ionizadas al recombinarse con electrones libres, no necesariamente caen al estado fundamental sino en cascada produciendo fotones de baja energía.

Si una estrella masiva se encuentra embebida en una nube de átomos de hidrógeno, de densidad uniforme, forma una región de ionización esférica, conocida como Esfera de Strömgen, como se muestra esquemáticamente en la Figura A.2. El radio de esta esfera, llamado radio de Strömgen, puede tener dimensiones de decenas de pc para las estrellas tipo espectral B0, hasta centenas de pc, para estrellas O5. Para el caso ideal en que la estrella masiva se encuentre embebida en una nube de H neutro de densidad uniforme, el radio de Strömgen tiene la siguiente expresión:

$$R_S \simeq 2,97 \times 10^{-11} \frac{N^{1/3}}{n_H^{2/3}} [\text{pc}], \quad (\text{A.1})$$

donde N es el número de fotones por segundo producido por la estrella y n_H es la densidad numérica de partículas de hidrógeno en el gas. Toda partícula de hidrógeno fuera de este radio se encontrará en estado neutro.

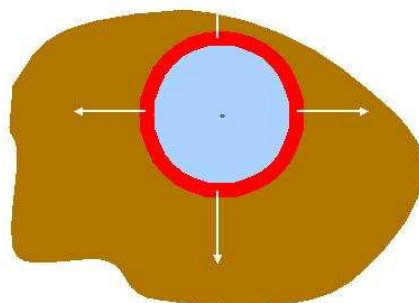


Figura A.2: Representación esquemática de una región HII perfectamente esférica embebida en una nube molecular de densidad uniforme, con una estrella masiva en el centro de la esfera de Strömgen.

Como se dijo, en general las regiones HII se encuentran profundamente embebidas o incrustadas en núcleos moleculares densos, cuyas altas densidades impiden el paso de la radiación visible e infrarroja cercana, dificultando grandemente e impidiendo su observación directa en esas longitudes de onda. Las regiones HII alcanzan temperaturas cinéticas de 10000-20000 K y densidades de casi 10 átomos por cm^{-3} (Churchwell 2002; Ver Hoarde et al. 2007).

Las estrellas masivas más jóvenes están asociadas a regiones HII de tamaños muy reducidos (diámetro ~ 0.1 pc), conocidas como regiones *HII Ultra-Compactas (UC HII)*. Estas regiones poseen altas densidades (típicamente mayores a 10^4 cm^{-3}) y se encuentran extremadamente oscurecidas por el material de la nube madre. Esto último hace que sólo sean observables en longitudes de onda de radio, del sub-milimétrico y del infrarrojo.

Si bien las regiones UC HII se encuentran asociadas con objetos estelares jóvenes de alta masa y, por lo tanto, son consideradas como *indicadores* de la presencia de los mismos, ellas no corresponderían a las etapas más tempranas en la formación de las estrellas masivas. La historia de este tipo de estrellas comienza mucho más temprano en los núcleos moleculares densos calientes o "Hot Cores", regiones en rápida acreción, conteniendo proto-estrellas masivas. A estas regiones se las conoce como precursores de las regiones UC HII (PUCHs, "precursors of UC HIIs). Son muy pequeñas y compactas (diámetro < 0.1 pc), y bastantes densas ($n_{H_2} > 10^7 \text{ cm}^{-3}$). Su interior estaría calentado por la estrella masiva central. El tiempo de vida de los PUCHIs es bastante corto, típicamente menores a 10^5 años (Churchwell 2002).

Wolfire & Churchwell (1994) encontraron que las grandes luminosidades de las proto-estrellas masivas de las PUCHIs crean una cavidad central libre de polvo, donde las temperaturas son más altas que la temperatura de sublimación del mismo. Los modelos de Wolfire & Churchwell (1994) y Chini et al. (1987) indican que el radio interior del polvo evacuado por la PUCH es sustancialmente más grande que el radio de sublimación del polvo, probablemente debido a la acción de los vientos estelares y a la presión de radiación.

Las regiones PUCHs representan una etapa clave en el desarrollo de las estrellas masivas. Además, serían los únicos identificadores confiables de la formación reciente de estas estrellas. Estas regiones proveen medios para estudiar el proceso de formación y evolución temprana de las estrellas masivas y en el medio en que esto ocurre.

A.4. Emisiones de Máser

En las cercanías de las estrellas masivas en formación se produce el fenómeno de M.A.S.E.R ("Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation"), efecto semejante al láser, en donde una determinada molécula se desexcita a un nivel inferior por el pasaje cercano de un fotón que tiene la misma frecuencia que la transición que se va a producir, estimulando a la molécula a emitir un fotón idéntico y en la misma dirección. La diferencia entre el láser y el máser radica en que el fenómeno de máser se produce en el rango de las microondas (incluido el radio) en lugar de la luz visible. En la Figura A.3 se esquematiza el fenómeno del máser.

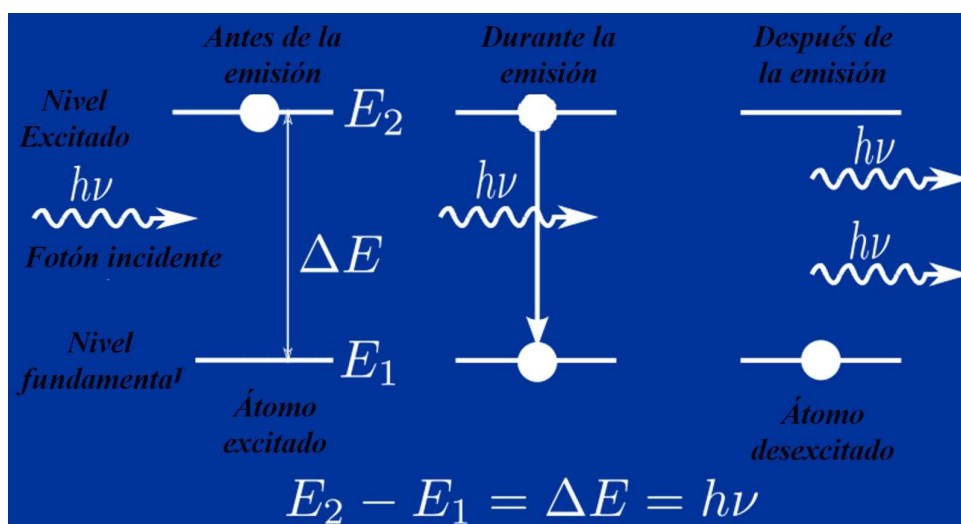


Figura A.3: Representación esquemática del fenómeno de máser.

Para que la emisión estimulada sea detectable es necesario que sea amplificada, para ello se necesita que haya una buena cantidad de moléculas idénticas en el mismo estado energético, de forma que la desexcitación de una de las moléculas, por un fotón, y su subsecuente emisión provoque la desexcitación de la molécula más próxima y así sucesivamente, produciéndose una cascada de fotones que dá lugar a un haz fotónico bien colimado, bastante monocromático y de gran intensidad. Al mismo tiempo, debe existir un mecanismo tal que haga que todas las moléculas desexcitadas vuelvan al mismo estado energético anterior; a esto se lo conoce como inversión de población. El mecanismo puede ser producido por una fuente muy energética, como por ejemplo, una estrella masiva.

Las moléculas más importantes que dan lugar al fenómeno de máser son el agua (H_2O), el radical hidróxilo (OH), el monóxido de silicio (SiO) y el metanol (CH_3OH). Si no fuese por el fenómeno máser, estas moléculas, que se encuentran en el medio interestelar, no serían detectables ya que su emisión espontánea es demasiado débil para ser detectada.

A.4.1. Distribución Lineal de Máseres y Discos Visto de Canto

En general las moléculas de bajo potencial de ionización, como el H_2O , necesitan ser protegidas de la intensa radiación UV emitida por la estrella de alta masa. Es por esto que ellas son detectadas en las nubes o envolventes de las estrellas, en donde las partículas de polvo absorben los fotones muy energéticos reemitiéndolos en longitudes de onda más largas.

La Figura A.4 esquematiza la emisión de máser que yacen en un disco circunestelar. De todas las posibles direcciones de emisión que tiene una molécula, sólo una de ellas es preferencial. Por ejemplo, si la dirección de emisión de máser es perpendicular al disco circunestelar, los fotones atraviesan la región HII de la fuente siendo absorbidos por la misma. Mientras que si la dirección de emisión es a lo largo del disco, el material del mismo protege dicha emisión de los efectos de la región HII circundante, posibilitando que pueda ser detectada. Por otra parte, en este caso la emisión se origina en una columna de material más profunda.

Entonces la detección de una distribución lineal de máser sobre el plano del cielo es evidencia indirecta de la presencia de un disco visto de canto, en el cual yacen. Gracias a las emisiones de máser se puede tener conocimiento de la cinemática de los discos circunestelares. Tal es el caso de G309.92+0.48, en donde Norris et al. (1998) detectaron emisiones de máser de agua con una distribución lineal proyectada en el cielo, como se muestra en el panel izquierdo de la Figura A.5. Esta distribución de máser delinea un disco circunestelar visto de canto con un diámetro de 1600 UA y una masa de $\sim 1M_{\odot}$. La Figura A.6 muestra una representación esquemática de las emisiones de máser que yacen en el plano de un disco visto de canto para la fuente NGC2071-IRS3. Notar que la dirección de la distribución de los máser es perpendicular a la del "jet". Esta figura ha sido tomada del trabajo de Torrelles et al. (2002).

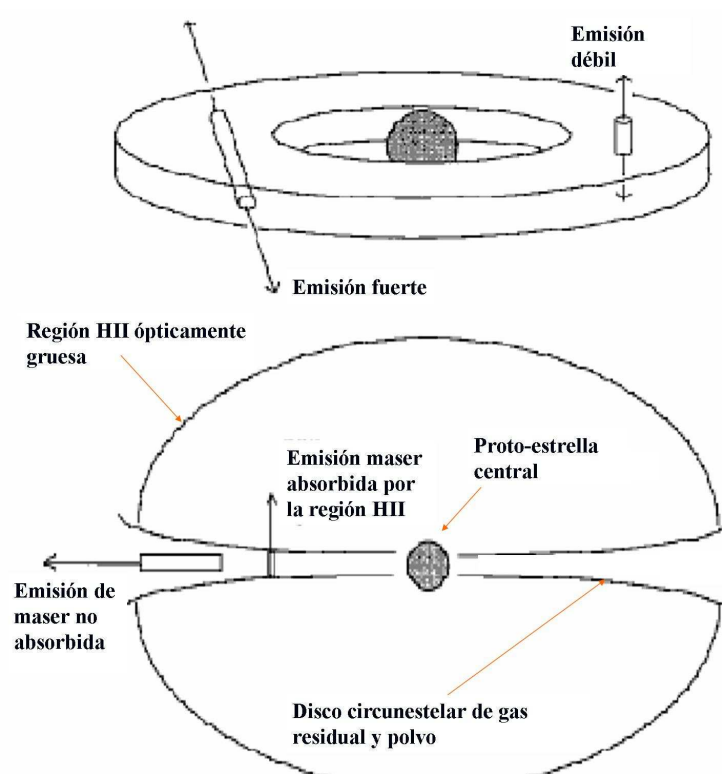


Figura A.4: Representación esquemática de la emisión de maser en un disco circunestelar. Las emisiones perpendiculares al disco son absorbidas por la región HII, mientras que los fotones emitidos sobre el plano del disco pueden escapar y ser detectados.

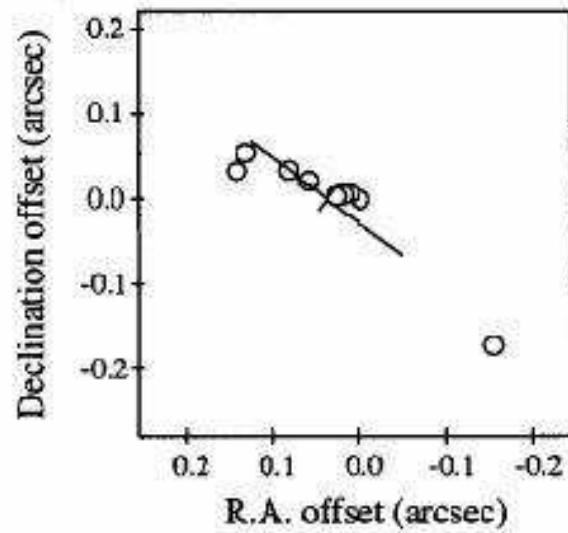


Figura A.5: Posiciones "offsets" α y δ , con respecto a la fuente central, de máseres de agua (círculos vacíos) detectados en la región de G309.92+0.48. Esta Figura fue tomada del trabajo de Norris et al. (1998).

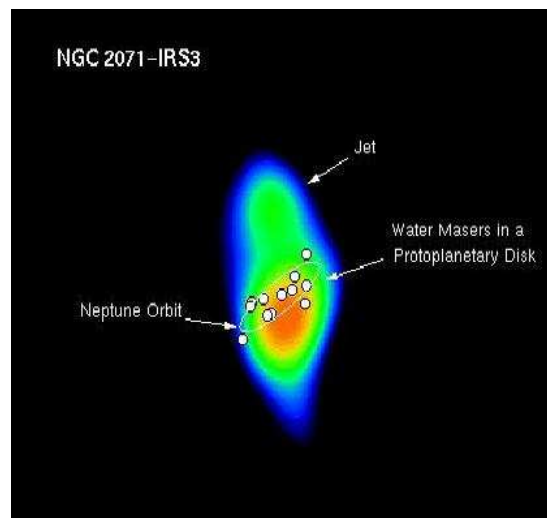


Figura A.6: Representación esquemática de máseres en el disco de la fuente NGC2071-IRS3, tomada del trabajo de Torrelles et al. (2002). Notar que la distribución de máseres es perpendicular a la dirección del "jet".

Apéndice B

El Diagrama color-color J–H vs H–K en el Infrarrojo Cercano

B.1. Descripción

La Figura B.1 muestra el conocido diagrama color-color, J–H vs H–K, en el infrarrojo cercano. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Sobre la rama de la Secuencia Principal se indican las localizaciones de los distintos tipos espectrales. Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que, paralela al vector de enrojecimiento, se extiende desde los extremos de la Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 5 magnitudes.

Toda estrella que yace dentro de la banda de enrojecimiento puede ser des-enrojecida y llevada a la Secuencia Principal siguiendo la dirección del vector de enrojecimiento (estrella A en la Figura B.1). En este caso el objeto sólo presenta enrojecimiento interestelar. En general se trata de un objeto que se encuentra detrás de la nube o en la propia nube, cuya luz es enrojecida por el polvo de la nube a la que atraviesa. Por el contrario, si una estrella yace a la derecha de dicha banda (estrella B en la Figura B.1) presentará enrojecimiento intrínseco, además del interestelar, ya que no puede ser des-enrojecida siguiendo la dirección del mencionado vector. En el caso de las estrellas jóvenes, este enrojecimiento intrínseco es atribuido a la presencia de envolventes y/o discos circunestelares de gas y polvo.

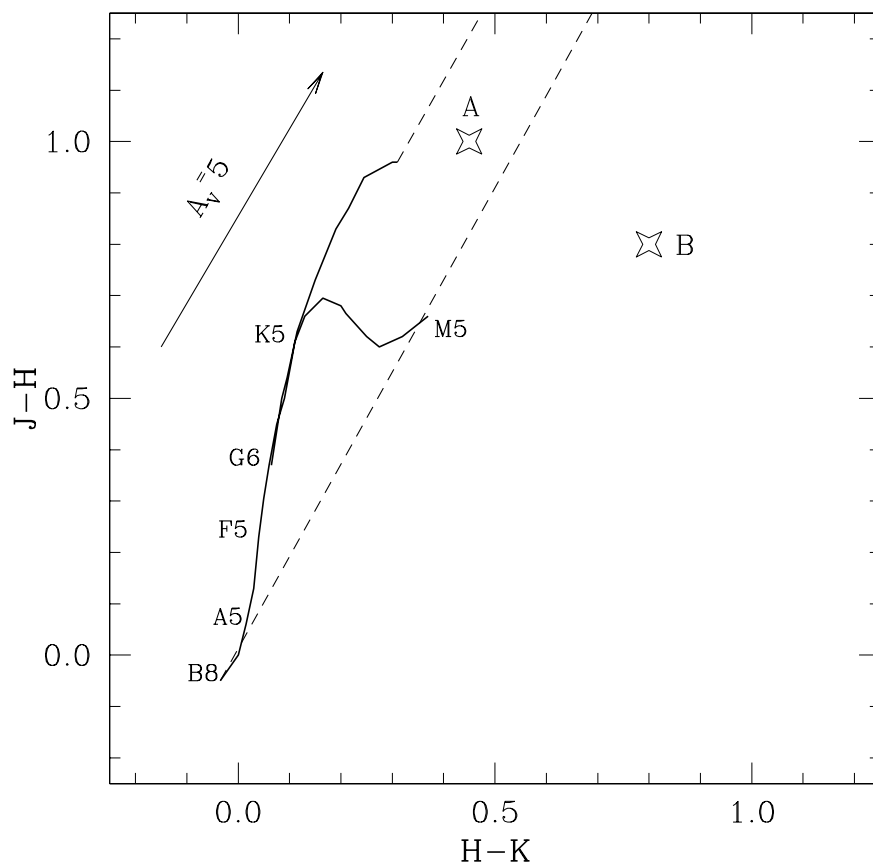


Figura B.1: Diagrama color-color $J-H$ vs $H-K$. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Sobre la rama de la Secuencia Principal se indican las localizaciones de los distintos tipos espectrales. Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de la Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 5 magnitudes. La estrella B presenta enrojecimiento intrínseco en tanto que la A sólo presenta enrojecimiento interestelar.

Apéndice C

Datos de 2MASS para IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916

C.1. 2MASS: Breve Descripción

2MASS ("The Two Micron All Sky Survey"¹, Skrutskie et al. 2006) es un relevamiento de ambos hemisferios celestes en las bandas Ks ($2.17 \mu\text{m}$), H($1.65 \mu\text{m}$) y J($1.25 \mu\text{m}$) realizado con dos telescopios gemelos automatizados de 1.3-m. Uno de ellos ubicado en Mt. Hopkins, Arizona (EEUU) y el otro en Cerro Tololo (Chile). Cada telescopio estaba equipado por sendas cámaras infrarrojas de tres canales o detectores por lo cual se realizaron observaciones simultáneas en las tres bandas. Cada canal poseía un arreglo de 256×256 pixeles de HgCdTe. Las observaciones de todo el cielo comenzaron en junio de 1997 para el hemisferio Norte y en marzo de 1998 para el Sur. Las mismas fueron completadas en febrero de 2001, para ambos hemisferios.

Este relevamiento detectó, en las bandas mencionadas, toda fuente celeste con un brillo mayores a 1 mJy, con una relación S/R > 10 , usando un tamaño de pixel de $2''$. Se construyeron diversos catálogos entre los cuales podemos mencionar: "A point source catalog" (el catálogo de fuentes puntuales), con posiciones y flujos para más de 300 millones de estrellas y objetos celestes no resueltos y, "An extended source catalog" (el catálogo de fuentes extendidas), conteniendo posiciones y magnitudes

¹This publication makes use of data products from the Two Micron All Sky Survey, which is a joint project of the University of Massachusetts and the Infrared Processing and Analysis Center/California Institute of Technology, funded by the National Aeronautics and Space Administration and the National Science Foundation.

para más de un millón de galaxias, nebulosas y otras fuentes extendidas, en general ². Las magnitudes límites de 2MASS para fuentes puntuales con S/R = 10 son 14.3, 15.1 y 15.8, filtros Ks, H y J, respectivamente. En el caso de las fuentes extendidas estos límites son, 13.5, 14.3 y 15.0.

Dado que todos los "productos" (catálogos e imágenes) producidos por 2MASS son de libre acceso y ampliamente utilizados por la comunidad astronómica, en este Apéndice se presenta el análisis de los datos obtenidos por 2MASS para las dos fuentes estudiadas en los Capítulos 3, 4 y 5 del presente Trabajo Especial. Este análisis permite una comparación entre las imágenes y magnitudes obtenidas de 2MASS con las presentadas en este Trabajo Especial, observadas con el telescopio Baade y la cámara infrarroja PANIC.

C.2. IRAS 12272–6240

Las Figuras C.1 y C.2 muestran tanto las imágenes individuales en los filtros J, H y Ks, así como también la combinada (JHKs) obtenidas por 2MASS para la fuente IRAS 12272–6240. El tamaño del campo es de $2' \times 2'$, similar al del campo proporcionado por la cámara PANIC en el telescopio Baade.

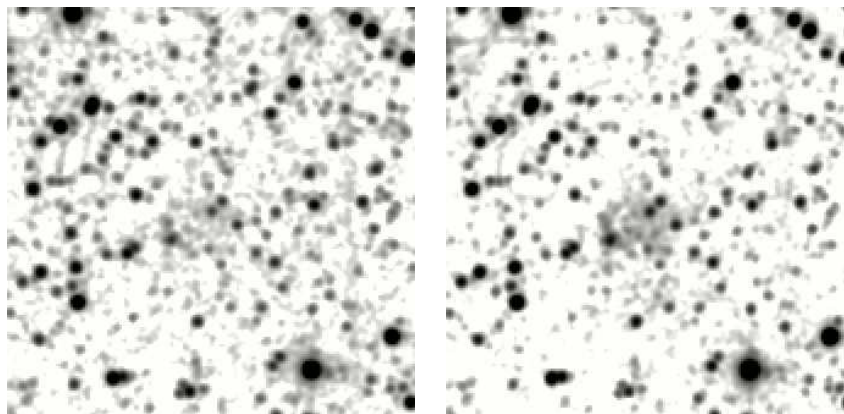


Figura C.1: Imágenes en las bandas J (panel izquierdo) y H (panel derecho) de 2MASS para la fuente IRAS 12272–6240. El campo mostrado es de $2' \times 2'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda. Imágenes obtenidas del sitio web <http://hachi.ipac.caltech.edu:8080/montage/>.

²El sitio web <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/> ofrece información detallada sobre los distintos "productos" de 2MASS, así como también diversas facilidades para acceder a los catálogos e imágenes disponibles "on-line". La misma página ofrece información completa del propio relevamiento 2MASS.

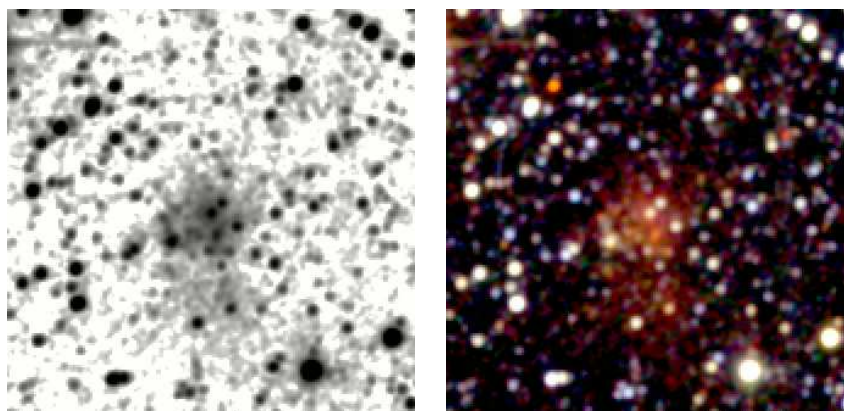


Figura C.2: Panel izquierdo: Imagen en la banda Ks de 2MASS para la fuente IRAS 12272–6240. Panel Derecho: Combinación en colores falsos, rojo (filtro Ks), verde (filtro H) y azul (filtro J) de las imágenes individuales en cada una de las bandas de 2MASS. El campo mostrado es de $2' \times 2'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda. Imágenes obtenidas del sitio web <http://hachi.ipac.caltech.edu:8080/montage/>.

C.2.1. Fuentes Detectadas: Histogramas de Magnitudes en las Bandas Ks, H y J

La Figura C.3 muestra los histogramas de la distribución en magnitudes de las fuentes detectadas en cada una de las bandas de 2MASS en la región de IRAS 12272–6240. Se detectaron un total de 122 fuentes en los tres filtros. En general, los límites de completitud de los datos disponibles pueden fijarse en 15.5 en la banda J y 14.5 en las bandas H y K, mientras que los límites de detección en 17.5, 16.5 y 15.5 en J, H y K, respectivamente.

C.2.2. Diagrama Color-Color J–H vs H–Ks

De las 122 fuentes detectadas en la región sólo, 78 poseen sus respectivos errores fotométricos. Estas fuentes fueron empleadas para confeccionar el diagrama color-color, J–H vs H–Ks³, de la Figura C.4. El 19% de las fuentes (15 de 78) yacen hacia la derecha de la banda de enrojecimiento y, por lo tanto, presentan excesos de color atribuibles a la presencia de discos y/o envoltentes cicunestelares, comunes en objetos de Pre-Secuencia Principal.

³El Apéndice B presenta una descripción de este diagrama.

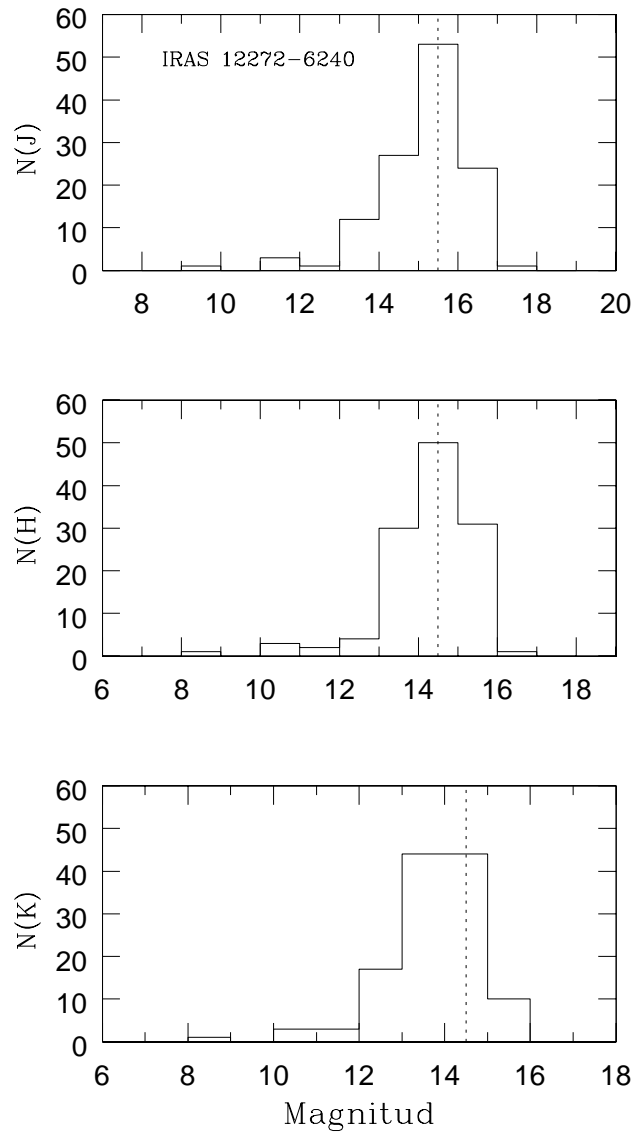


Figura C.3: Histogramas de la distribución en las bandas Ks, H y J de las fuentes detectadas en la región de IRAS 12272–6240. La línea de trazo quebrado indica el límite de completitud de la muestra en cada filtro.

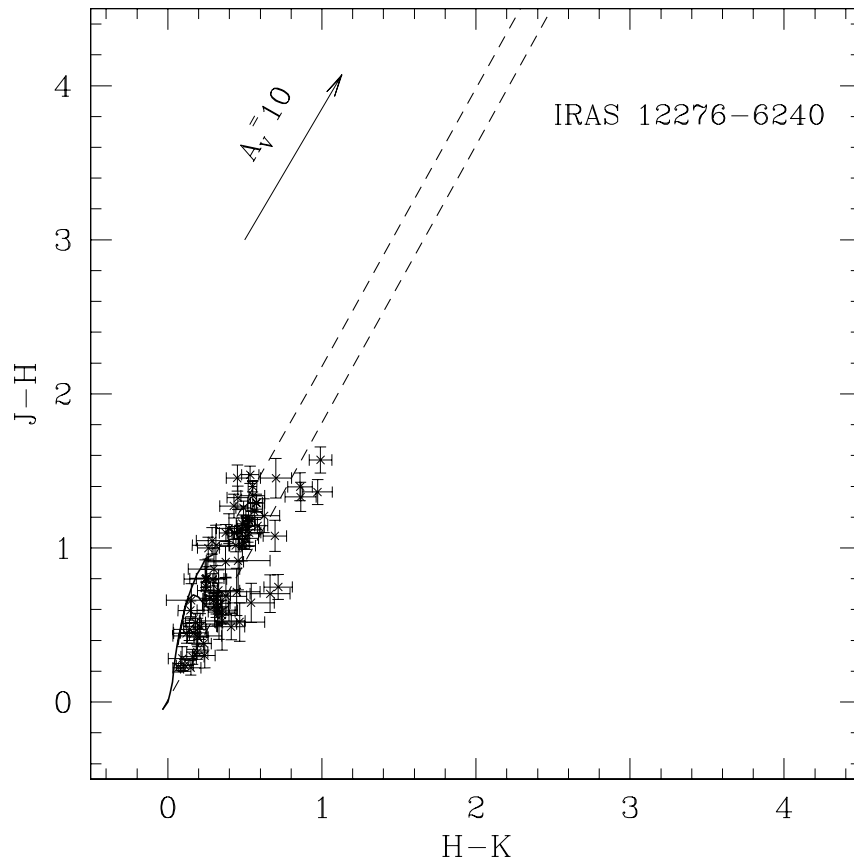


Figura C.4: Diagrama color-color $J-H$ vs $H-K$ de la región de IRAS 12272-6240. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de las Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 10 magnitudes.

C.3. IRAS 17149–3916

Las Figuras C.5 y C.6 muestran tanto las imágenes individuales en los filtros J, H y Ks, así como también la combinada (JHKs) obtenidas por 2MASS para la fuente IRAS 17149–3916. El tamaño del campo es de $2' \times 2'$, similar al del campo proporcionado por la cámara PANIC en el telescopio Baade.

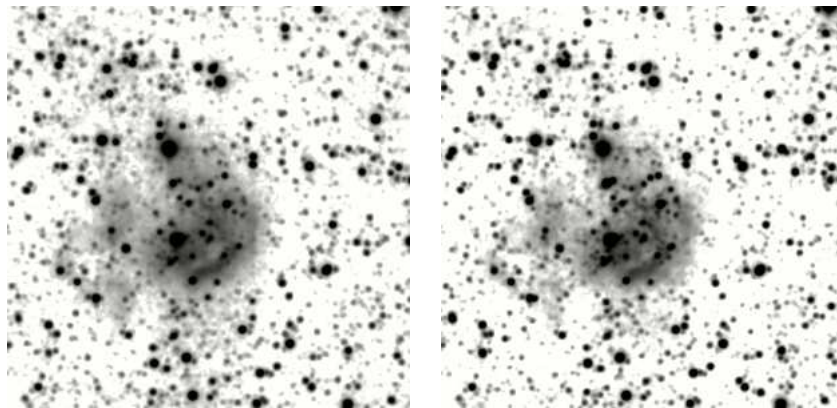


Figura C.5: Imágenes en las bandas J (panel izquierdo) y H (panel derecho) de 2MASS para la fuente IRAS 17149–3916. El campo mostrado es de $2' \times 2'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda. Imágenes obtenidas del sitio web <http://hachi.ipac.caltech.edu:8080/montage/>.

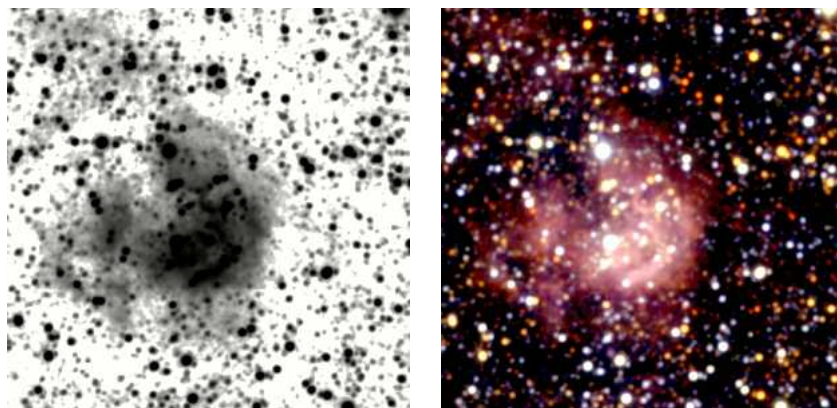


Figura C.6: Panel izquierdo: Imagen en la banda Ks de 2MASS para la fuente IRAS 17149–3916. Panel Derecho: Combinación en colores falsos, rojo (filtro Ks), verde (filtro H) y azul (filtro J) de las imágenes individuales en cada una de las bandas de 2MASS. El campo mostrado es de $2' \times 2'$. El Norte está hacia arriba y el Este hacia la izquierda. Imágenes obtenidas del sitio web <http://hachi.ipac.caltech.edu:8080/montage/>.

C.3.1. Fuentes Detectadas: Histogramas de Magnitudes en las Bandas Ks, H y J

La Figura C.7 muestra los histogramas de la distribución en magnitudes en cada una de las bandas de 2MASS en la región de IRAS 17149–3916. Se detectaron un total de 133 fuentes en los tres filtros. En general los límites de completitud de los datos disponibles pueden fijarse en 14.5 en las bandas J y H, y de 13.5 en la banda K, mientras que los límites de detección en 16.5, 15.5 y 14.5 en J, H y K, respectivamente.

C.3.2. Diagrama Color-Color J–H vs H–Ks

De las 133 fuentes detectadas en la región, sólo 52 poseen sus respectivos errores fotométricos. Estas fuentes fueron empleadas para confeccionar el diagrama color-color, J–H vs H–Ks, de la Figura C.8. El 38% (20 de 52) yacen hacia la derecha de la banda de enrojecimiento y, por lo tanto, presentan excesos de color atribuibles a la presencia de discos y/o envoltentes cicunestelares, comunes en objetos de pre-secuencia principal.

C.4. Telescopio BAADE vs Telescopio 2MASS

En la Secciones 3.2.4 se presentaron las imágenes en colores falsos como resultado de una combinación de los filtros J, H, Ks de las regiones asociadas con las fuentes IRAS 12272-6240 y IRAS 17149-3916 tomadas con los telescopios BAADE y 2MASS (Figuras 3.2 y 3.4), con el objetivo de destacar la mejor resolución y mayor cantidad de objetos detectados en las respectivas regiones. A continuación se hace una comparación entre los datos obtenidos con el telescopio BAADE y 2MASS.

En la región de IRAS12272-6240 se detectaron 122 fuentes con el telescopio 2MASS, siendo completa dicha muestra hasta magnitud Ks = 14.5 y pudiendo detectar objetos hasta magnitud Ks = 15.5 (ver Figura C.3). Mientras que con el telescopio BAADE se pudieron detectar una muestra notablemente más grande, con un total de 1000 objetos, siendo completa hasta magnitud Ks = 16.5 y detectando objetos mucho más débiles de hasta magnitud Ks = 18.5 (ver figura 4.3), es decir que estas últimas observaciones fueron 2-3 magnitudes más profundas que la realizada por el telescopio 2MASS. Por otro lado, comparando los diagramas color-color obtenidos en ambas observaciones (ver Figura 4.5 y C.4) se aprecia la gran diferencia de objetos

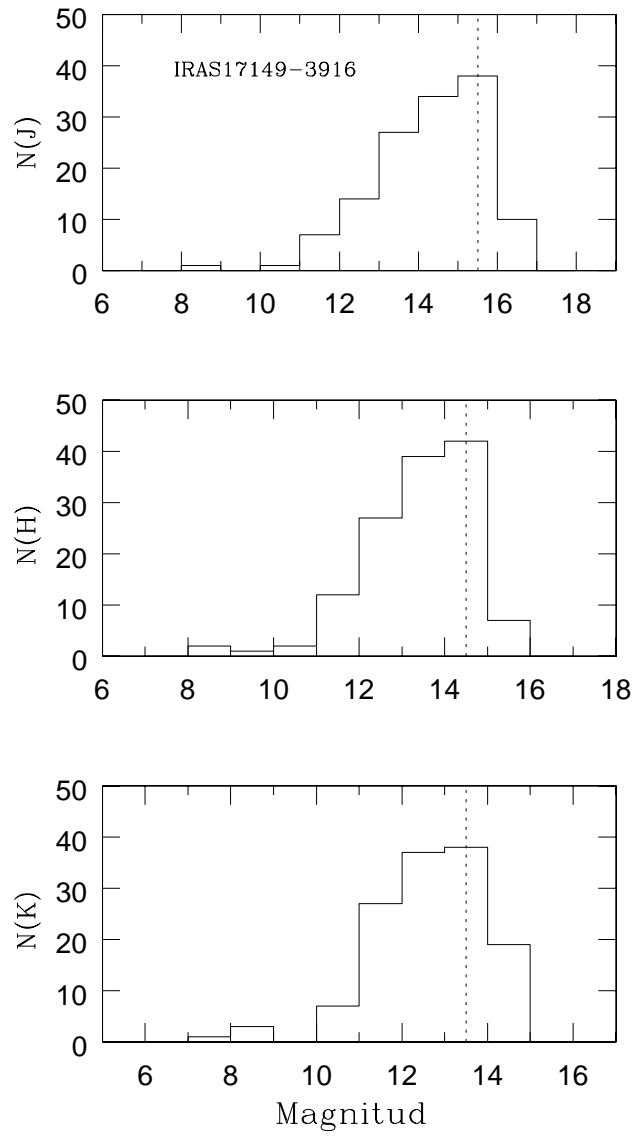


Figura C.7: Histogramas de la distribución en las bandas Ks, H y J de las fuentes detectadas en la región de IRAS 17149–3916. La línea de trazo quebrado indica el límite de completitud de la muestra en cada filtro.

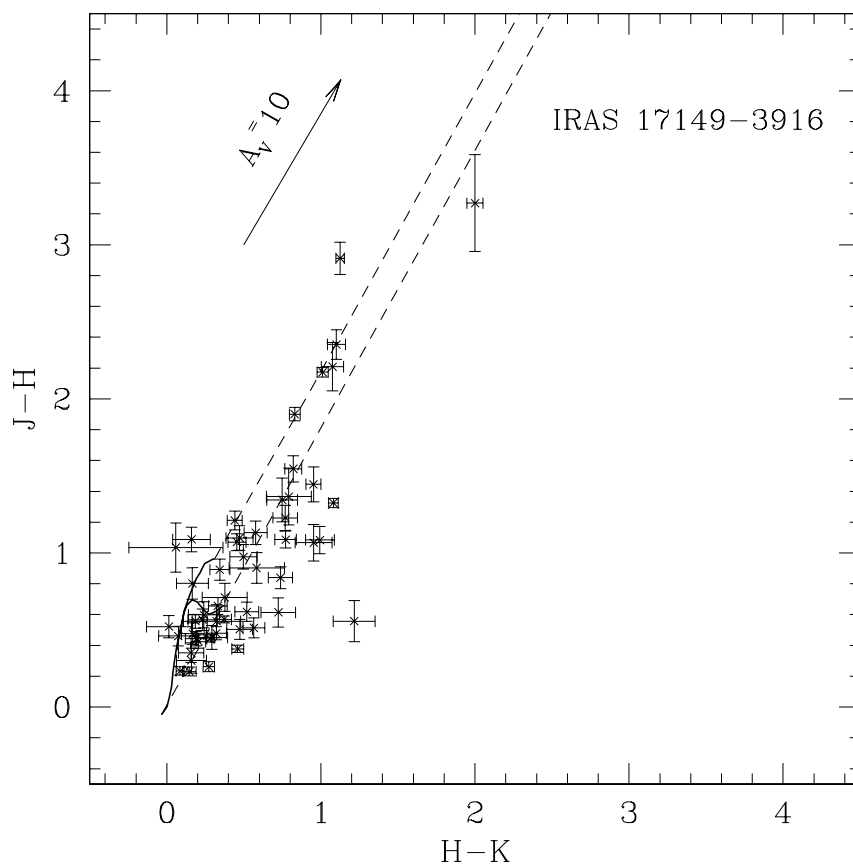


Figura C.8: Diagrama color-color $J-H$ vs $H-K$ de la región de IRAS 17149-3916. Las líneas de trazo continuo indican la posición de la Secuencia Principal y de la Rama de las Gigantes (Bessell & Brett 1988). Las líneas de trazo quebrado corresponden a la banda de enrojecimiento que se extiende desde los extremos de las Secuencia Principal (Rieke & Lebofsky 1985). La flecha indica al vector de enrojecimiento para un monto de extinción en la banda V de 10 magnitudes.

detectados; sin embargo, en ambos diagramas se ha determinado casi el mismo porcentaje de objetos (14 % con el telescopio BAADE y 19 % con el 2MASS) con excesos de color intrínsecos.

Pasando a la región de IRAS 17149-3916 se detectaron 133 fuentes con el telescopio 2MASS, siendo completa dicha muestra hasta magnitud $K_s = 13.5$ y pudiendo detectar objetos hasta magnitud $K_s = 14.5$ (ver Figura C.7). Mientras que otra vez, con el telescopio BAADE se pudieron detectar una muestra notablemente más grande, con un total de 838 objetos, siendo completa hasta magnitud $K_s = 15.5$ y detectando objetos mucho más débiles de hasta magnitud $K_s = 18$ (ver figura 4.4), es decir que estas últimas observaciones fueron también 2-3 magnitudes más profundas que la realizada por el telescopio 2MASS. Por otro lado, en los diagramas color-color obtenidos en ambas observaciones (ver Figura 4.5 y C.4) se aprecia nuevamente la gran diferencia de objetos detectados, sin embargo, en ambos diagramas se han estimado casi el mismo porcentaje de objetos (~ 34 % con el telescopio BAADE y ~ 38 % con el 2MASS) con excesos de color intrínsecos.

Apéndice D

Fotometría de Apertura de las Fuentes IRAS 12272–6240 y IRAS 17149–3916

D.1. Magnitudes J, H y Ks de las Fuentes Detectadas en la Región de IRAS 17149–3916

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) (° ' ")	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:19.28	–39:19:50.3	17.85	0.02	16.97	0.02	16.37	0.02
17:18:19.30	–39:19: 8.4	15.12	0.00	14.50	0.00	14.20	0.00
17:18:19.32	–39:19:34.1	20.38	0.11	18.26	0.04	16.99	0.05
17:18:19.34	–39:18:34.1	17.27	0.01	16.45	0.01	15.95	0.01
17:18:19.35	–39:18:21.2	17.28	0.01	16.74	0.02	14.14	0.00
17:18:19.35	–39:19:31.7	15.95	0.00	14.71	0.00	13.67	0.00
17:18:19.36	–39:18: 0.8	21.02	0.23	17.62	0.03	15.64	0.01
17:18:19.36	–39:19:18.1	17.37	0.01	16.40	0.01	15.94	0.02
17:18:19.38	–39:18: 3.0	17.72	0.01	16.55	0.01	15.93	0.02
17:18:19.38	–39:18: 3.0	17.72	0.01	16.55	0.01	15.93	0.02
17:18:19.39	–39:19:31.2	15.94	0.00	14.70	0.00	13.70	0.00
17:18:19.40	–39:19:52.2	16.66	0.00	15.72	0.01	15.11	0.01
17:18:19.44	–39:18:22.4	17.28	0.01	16.40	0.01	15.41	0.01
17:18:19.50	–39:18:30.0	16.99	0.01	16.03	0.01	15.49	0.01
17:18:19.54	–39:18:52.3	17.85	0.03	16.61	0.02	16.30	0.03
17:18:19.56	–39:18:31.7	17.82	0.02	16.81	0.01	16.48	0.03
17:18:19.56	–39:18:31.7	17.82	0.02	16.81	0.01	16.48	0.03
17:18:19.56	–39:18:31.7	17.82	0.02	16.81	0.01	16.48	0.03
17:18:19.56	–39:18:31.7	17.82	0.02	16.81	0.01	16.48	0.03
17:18:19.56	–39:18:31.7	17.82	0.02	16.81	0.01	16.48	0.03
17:18:19.56	–39:18:54.7	16.70	0.01	15.89	0.01	15.41	0.01
17:18:19.57	–39:19:11.7	17.69	0.03	16.75	0.02	16.23	0.03
17:18:19.63	–39:19: 3.9	15.40	0.00	14.69	0.00	14.24	0.01

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:19.64	-39:19:34.5	23.07	1.71	17.92	0.04	16.08	0.03
17:18:19.65	-39:18: 5.7	17.73	0.02	16.95	0.01	16.38	0.02
17:18:19.65	-39:18: 5.7	17.73	0.02	16.95	0.01	16.38	0.02
17:18:19.65	-39:18:38.0	17.63	0.02	16.67	0.01	15.78	0.02
17:18:19.66	-39:18: 1.3	15.66	0.00	14.92	0.00	14.49	0.00
17:18:19.69	-39:18:40.1	16.91	0.01	15.98	0.01	15.61	0.01
17:18:19.70	-39:18:20.2	16.55	0.01	15.79	0.01	15.37	0.01
17:18:19.73	-39:18:18.7	16.71	0.01	15.81	0.01	15.33	0.01
17:18:19.74	-39:18:28.8	18.43	0.02	17.39	0.03	16.62	0.03
17:18:19.74	-39:18:28.8	18.43	0.02	17.39	0.03	16.62	0.03
17:18:19.74	-39:18: 2.8	16.81	0.00	15.98	0.00	15.63	0.01
17:18:19.77	-39:18:10.7	18.34	0.02	17.41	0.02	16.70	0.03
17:18:19.77	-39:18:10.7	18.34	0.02	17.41	0.02	16.70	0.03
17:18:19.77	-39:18:37.5	19.88	0.18	16.54	0.02	14.41	0.01
17:18:19.83	-39:18:51.0	15.55	0.00	14.90	0.00	14.58	0.01
17:18:19.83	-39:19:35.8	19.73	0.09	18.14	0.05	16.50	0.05
17:18:19.92	-39:19: 0.0	17.30	0.03	16.37	0.03	15.45	0.06
17:18:19.95	-39:19:47.4	17.55	0.01	16.75	0.01	16.25	0.03
17:18:19.97	-39:18:28.9	20.81	0.27	17.39	0.02	14.93	0.01
17:18:19.98	-39:19: 4.6	16.54	0.01	15.68	0.02	15.40	0.07
17:18:20.01	-39:19: 0.2	17.69	0.04	16.57	0.04	15.66	0.07
17:18:20.03	-39:19:10.2	17.32	0.01	16.71	0.02	16.24	0.05
17:18:20.05	-39:19:53.8	20.30	0.14	17.98	0.05	16.20	0.03
17:18:20.06	-39:19:28.5	19.78	0.13	17.65	0.04	15.24	0.01
17:18:20.09	-39:18:17.2	17.51	0.01	16.60	0.01	16.09	0.02
17:18:20.14	-39:18: 5.3	18.20	0.02	17.38	0.02	16.77	0.03
17:18:20.15	-39:18:35.3	18.09	0.02	16.42	0.01	15.63	0.02
17:18:20.16	-39:19: 0.2	17.93	0.14	17.75	0.09	16.10	0.07
17:18:20.17	-39:19:25.2	17.49	0.02	16.74	0.02	15.91	0.04
17:18:20.19	-39:19: 2.4	18.58	0.09	17.84	0.12	17.53	0.29
17:18:20.19	-39:18:45.4	16.82	0.02	15.93	0.02	15.39	0.03
17:18:20.21	-39:19:47.6	15.69	0.00	14.97	0.00	14.58	0.00
17:18:20.24	-39:18:52.3	17.38	0.06	16.60	0.04	15.85	0.04
17:18:20.24	-39:19:46.3	16.70	0.01	15.89	0.01	15.60	0.01
17:18:20.24	-39:19:32.2	18.20	0.04	16.79	0.03	15.00	0.01
17:18:20.24	-39:18:10.6	17.68	0.02	16.97	0.01	16.78	0.04
17:18:20.24	-39:18:10.6	17.68	0.02	16.97	0.01	16.78	0.04
17:18:20.36	-39:18:45.6	18.25	0.06	17.29	0.06	17.92	0.35
17:18:20.39	-39:19:42.6	18.27	0.02	17.16	0.02	16.55	0.05
17:18:20.40	-39:19:55.9	17.89	0.01	16.36	0.01	15.18	0.01
17:18:20.42	-39:18:20.3	16.56	0.00	15.88	0.00	15.54	0.01
17:18:20.42	-39:19:12.9	18.59	0.16	17.52	0.07	17.78	0.33
17:18:20.46	-39:19:18.7	17.19	0.02	15.72	0.01	14.79	0.01
17:18:20.50	-39:18:15.9	16.95	0.01	16.40	0.01	16.24	0.03
17:18:20.50	-39:18:15.9	16.95	0.01	16.40	0.01	16.24	0.03
17:18:20.51	-39:18: 5.4	15.44	0.00	14.60	0.00	14.26	0.00
17:18:20.52	-39:19:51.5	18.67	0.04	17.03	0.02	15.38	0.01
17:18:20.54	-39:18:36.1	17.69	0.02	15.64	0.01	14.43	0.01
17:18:20.54	-39:19: 8.7	15.83	0.01	15.10	0.01	14.45	0.02
17:18:20.56	-39:18:26.8	17.38	0.01	16.51	0.01	16.48	0.04
17:18:20.57	-39:19:54.3	13.73	0.00	13.18	0.00	12.74	0.00
17:18:20.58	-39:18:56.7	19.95	0.35	16.53	0.04	15.31	0.05
17:18:20.59	-39:18:43.1	16.69	0.02	15.39	0.01	14.43	0.01
17:18:20.62	-39:19:18.6	17.64	0.03	16.72	0.02	16.12	0.05

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:20.62	-39:18:13.0	12.74	0.00	12.45	0.00	11.90	0.00
17:18:20.62	-39:19:27.2	17.83	0.02	17.03	0.04	16.65	0.09
17:18:20.64	-39:19: 9.7	16.31	0.01	15.52	0.01	14.97	0.02
17:18:20.64	-39:18: 7.4	12.76	0.00	12.26	0.00	11.23	0.00
17:18:20.64	-39:18: 7.4	12.76	0.00	12.26	0.00	11.23	0.00
17:18:20.65	-39:19:56.4	17.56	0.01	14.80	0.00	12.91	0.00
17:18:20.65	-39:19:34.2	18.59	0.04	17.47	0.05	16.45	0.07
17:18:20.66	-39:18:45.4	18.34	0.05	16.62	0.03	15.46	0.05
17:18:20.67	-39:18:51.5	17.87	0.05	16.27	0.03	15.42	0.03
17:18:20.68	-39:18:59.5	19.00	0.23	17.39	0.09	15.94	0.08
17:18:20.69	-39:19: 0.5	18.73	0.14	17.18	0.06	16.02	0.07
17:18:20.72	-39:19:11.0	18.57	0.08	17.40	0.05	15.97	0.05
17:18:20.74	-39:18:47.9	20.90	0.34	16.79	0.03	15.19	0.03
17:18:20.75	-39:18:12.5	13.53	0.00	13.28	0.00	13.22	0.00
17:18:20.75	-39:19:19.8	18.55	0.05	16.89	0.02	16.09	0.03
17:18:20.76	-39:19:41.2	18.64	0.03	15.35	0.00	13.76	0.00
17:18:20.80	-39:19:32.9	18.63	0.06	17.20	0.03	15.31	0.02
17:18:20.80	-39:19:13.8	17.90	0.04	17.32	0.03	16.11	0.04
17:18:20.81	-39:18:47.9	19.98	0.18	16.95	0.04	15.46	0.04
17:18:20.83	-39:18:25.3	19.39	0.10	17.71	0.04	16.62	0.04
17:18:20.83	-39:18:25.3	19.39	0.10	17.71	0.04	16.62	0.04
17:18:20.85	-39:18:59.8	20.28	0.51	16.88	0.04	15.94	0.05
17:18:20.87	-39:19: 7.0	18.52	0.11	17.66	0.10	18.35	0.63
17:18:20.87	-39:19:51.0	15.55	0.00	14.96	0.00	14.71	0.01
17:18:20.87	-39:19:38.8	21.81	0.61	17.28	0.02	15.26	0.01
17:18:20.91	-39:18:55.6	17.10	0.03	15.63	0.01	14.65	0.02
17:18:20.91	-39:19:10.1	17.08	0.02	15.72	0.01	15.14	0.03
17:18:20.92	-39:19: 2.0	17.60	0.04	17.08	0.06	15.93	0.05
17:18:20.93	-39:18:53.0	19.49	0.41	18.33	0.22	16.88	0.18
17:18:20.93	-39:18:53.0	19.49	0.41	18.33	0.22	16.88	0.18
17:18:20.97	-39:18:57.2	18.83	0.15	17.21	0.06	16.35	0.09
17:18:20.98	-39:19:38.1	20.10	0.12	18.12	0.05	15.78	0.02
17:18:21.00	-39:18:48.4	16.44	0.01	15.36	0.01	14.83	0.01
17:18:21.04	-39:18:44.4	17.53	0.03	14.50	0.00	13.08	0.00
17:18:21.04	-39:18: 2.5	16.28	0.00	15.50	0.00	14.97	0.01
17:18:21.07	-39:19:27.3	19.03	0.08	18.39	0.10	16.05	0.05
17:18:21.10	-39:18: 8.7	16.30	0.00	15.65	0.01	15.38	0.01
17:18:21.11	-39:18:36.1	17.50	0.05	17.14	0.08	14.87	0.03
17:18:21.15	-39:18:41.4	14.74	0.00	14.13	0.00	13.92	0.01
17:18:21.15	-39:18:49.7	15.66	0.01	14.88	0.01	14.48	0.01
17:18:21.15	-39:19:16.4	17.67	0.02	15.90	0.01	14.83	0.01
17:18:21.16	-39:19:34.3	19.64	0.11	16.40	0.01	14.78	0.01
17:18:21.19	-39:19:15.3	17.33	0.02	16.30	0.02	15.34	0.03
17:18:21.22	-39:19: 8.7	19.22	0.18	17.15	0.04	16.45	0.07
17:18:21.24	-39:18:47.9	17.54	0.07	16.39	0.04	15.39	0.04
17:18:21.24	-39:18:53.7	16.93	0.02	16.26	0.03	16.32	0.10
17:18:21.24	-39:19:40.0	20.35	0.15	17.77	0.04	15.65	0.02
17:18:21.25	-39:19:25.4	21.24	0.62	18.11	0.12	16.15	0.07
17:18:21.27	-39:18:49.5	14.36	0.00	14.21	0.01	13.57	0.01
17:18:21.29	-39:18:51.1	14.36	0.00	13.32	0.00	12.79	0.00
17:18:21.30	-39:19: 3.5	16.87	0.02	15.61	0.01	15.17	0.02
17:18:21.31	-39:19: 5.1	17.65	0.04	16.02	0.02	15.90	0.05
17:18:21.32	-39:19:53.0	19.28	0.06	15.59	0.00	13.54	0.00
17:18:21.32	-39:19: 9.9	18.36	0.11	16.71	0.04	15.65	0.04

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:21.34	-39:19: 6.8	15.44	0.01	14.31	0.00	13.98	0.01
17:18:21.35	-39:18:37.6	15.22	0.00	15.20	0.01	14.63	0.03
17:18:21.37	-39:18:25.6	17.70	0.02	16.67	0.02	16.06	0.05
17:18:21.37	-39:18:25.6	17.70	0.02	16.67	0.02	16.06	0.05
17:18:21.37	-39:18:41.5	16.14	0.01	15.06	0.01	14.41	0.01
17:18:21.45	-39:19:40.4	16.36	0.00	15.82	0.01	15.91	0.03
17:18:21.47	-39:18:27.6	18.55	0.04	17.94	0.07	16.47	0.07
17:18:21.47	-39:18:27.6	18.55	0.04	17.94	0.07	16.47	0.07
17:18:21.48	-39:19:13.4	13.17	0.00	12.60	0.00	12.12	0.00
17:18:21.51	-39:18: 9.4	15.62	0.00	14.77	0.00	14.31	0.00
17:18:21.54	-39:19:47.2	15.36	0.00	14.44	0.00	14.08	0.00
17:18:21.56	-39:18:54.6	17.37	0.03	16.02	0.01	15.33	0.03
17:18:21.56	-39:18:54.6	17.37	0.03	16.02	0.01	15.33	0.03
17:18:21.61	-39:18:31.8	15.14	0.00	12.85	0.00	11.86	0.00
17:18:21.62	-39:19:38.2	20.09	0.19	17.90	0.06	16.37	0.05
17:18:21.62	-39:18:11.6	17.77	0.02	16.98	0.01	16.50	0.03
17:18:21.62	-39:18:11.6	17.77	0.02	16.98	0.01	16.50	0.03
17:18:21.63	-39:18:29.8	17.88	0.05	15.76	0.01	14.72	0.01
17:18:21.63	-39:19:28.2	19.50	0.16	17.41	0.06	15.78	0.03
17:18:21.63	-39:19:53.8	18.29	0.02	17.35	0.02	16.58	0.04
17:18:21.66	-39:18: 5.8	17.33	0.01	16.46	0.01	15.97	0.02
17:18:21.66	-39:18:55.2	16.85	0.02	15.39	0.01	14.83	0.02
17:18:21.71	-39:19:21.7	16.53	0.01	13.64	0.00	12.21	0.00
17:18:21.72	-39:19:25.8	17.76	0.04	17.24	0.05	16.76	0.07
17:18:21.72	-39:19:24.1	18.86	0.16	18.02	0.11	16.85	0.10
17:18:21.73	-39:19:38.7	21.01	0.44	19.36	0.27	16.26	0.05
17:18:21.73	-39:18:25.2	16.97	0.01	16.16	0.02	15.71	0.04
17:18:21.76	-39:18: 7.5	19.33	0.07	17.63	0.04	16.51	0.04
17:18:21.76	-39:18: 7.5	19.33	0.07	17.63	0.04	16.51	0.04
17:18:21.76	-39:19:36.1	16.85	0.01	17.23	0.04	16.09	0.04
17:18:21.76	-39:18:56.7	16.63	0.02	15.71	0.02	15.32	0.03
17:18:21.78	-39:18:48.1	13.77	0.00	13.34	0.00	13.20	0.00
17:18:21.79	-39:19:42.1	19.16	0.06	17.31	0.04	15.79	0.04
17:18:21.80	-39:18:54.2	18.24	0.06	16.89	0.05	15.95	0.06
17:18:21.80	-39:18:46.4	16.20	0.01	15.65	0.01	15.20	0.02
17:18:21.80	-39:18:13.0	17.92	0.02	17.30	0.02	16.67	0.04
17:18:21.80	-39:18:13.0	17.92	0.02	17.30	0.02	16.67	0.04
17:18:21.81	-39:19:31.1	19.21	0.09	18.14	0.13	16.36	0.08
17:18:21.82	-39:18:43.2	16.44	0.01	15.22	0.01	14.79	0.02
17:18:21.85	-39:19:18.2	16.22	0.03	15.39	0.02	14.69	0.04
17:18:21.85	-39:19:29.3	18.05	0.04	17.34	0.05	16.58	0.08
17:18:21.86	-39:19: 0.1	17.95	0.06	16.65	0.04	16.59	0.09
17:18:21.86	-39:18:31.0	18.90	0.13	17.21	0.06	16.23	0.09
17:18:21.86	-39:18:31.0	18.90	0.13	17.21	0.06	16.23	0.09
17:18:21.87	-39:18:52.4	17.15	0.02	15.55	0.01	14.71	0.02
17:18:21.88	-39:18:22.7	16.68	0.01	15.85	0.02	15.62	0.04
17:18:21.88	-39:19:35.7	16.85	0.01	16.05	0.01	15.65	0.03
17:18:21.88	-39:18:33.6	18.52	0.05	16.92	0.04	15.48	0.04
17:18:21.90	-39:19: 5.0	16.49	0.01	14.92	0.01	14.26	0.01
17:18:21.91	-39:18:51.9	17.16	0.02	15.59	0.01	14.83	0.02
17:18:21.93	-39:19:27.4	18.13	0.05	17.63	0.06	16.57	0.08
17:18:21.93	-39:18:32.8	19.43	0.12	17.18	0.05	15.29	0.03
17:18:21.94	-39:18:55.6	22.71	4.72	18.32	0.17	17.08	0.16
17:18:21.94	-39:19:47.3	19.36	0.09	18.00	0.09	16.74	0.09

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:21.94	-39:18:41.5	14.69	0.00	13.43	0.00	12.94	0.00
17:18:21.95	-39:18:34.1	18.70	0.06	17.07	0.03	15.94	0.04
17:18:21.95	-39:18:38.6	18.44	0.05	16.91	0.03	16.58	0.06
17:18:21.96	-39:19: 1.5	17.12	0.03	16.25	0.03	15.89	0.05
17:18:21.96	-39:19:50.5	17.48	0.03	15.79	0.01	14.54	0.01
17:18:21.97	-39:19: 3.4	18.33	0.12	16.91	0.08	15.98	0.07
17:18:21.99	-39:19: 5.6	17.13	0.02	15.67	0.01	15.12	0.02
17:18:22.03	-39:18:31.6	16.93	0.02	16.05	0.02	15.40	0.03
17:18:22.04	-39:19:31.4	19.67	0.19	17.58	0.08	16.33	0.08
17:18:22.05	-39:18:39.2	17.48	0.02	16.17	0.01	15.79	0.03
17:18:22.05	-39:19:49.9	17.53	0.03	15.39	0.01	13.91	0.01
17:18:22.06	-39:19:16.1	16.25	0.05	15.41	0.03	15.50	0.12
17:18:22.06	-39:18:42.9	12.39	0.00	14.93	0.05	14.24	0.05
17:18:22.08	-39:18:38.0	19.00	0.11	16.77	0.04	16.53	0.08
17:18:22.09	-39:18:23.6	18.87	0.08	18.28	0.15	16.86	0.11
17:18:22.09	-39:18:23.6	18.87	0.08	18.28	0.15	16.86	0.11
17:18:22.09	-39:19:11.2	16.48	0.01	14.43	0.00	12.88	0.00
17:18:22.10	-39:18:59.1	19.75	0.29	18.56	0.23	18.55	0.68
17:18:22.10	-39:19:18.9	20.03	1.48	16.53	0.08	15.79	0.15
17:18:22.14	-39:19:25.6	15.43	0.03	14.58	0.02	13.94	0.03
17:18:22.14	-39:19: 4.1	19.69	0.39	17.68	0.13	17.37	0.23
17:18:22.19	-39:19:36.1	18.26	0.04	16.75	0.02	15.27	0.02
17:18:22.20	-39:19:27.4	16.35	0.04	15.15	0.02	14.15	0.03
17:18:22.20	-39:19: 9.6	18.39	0.07	16.09	0.02	14.78	0.02
17:18:22.20	-39:18:35.1	16.89	0.02	15.18	0.01	14.06	0.01
17:18:22.21	-39:19:46.2	17.93	0.04	16.51	0.02	15.44	0.02
17:18:22.22	-39:19:48.6	19.94	0.25	16.89	0.04	15.59	0.03
17:18:22.23	-39:18:46.4	15.93	0.02	14.60	0.01	13.85	0.02
17:18:22.27	-39:19:15.9	14.73	0.00	14.07	0.00	13.89	0.01
17:18:22.28	-39:18:49.6	18.10	0.12	16.20	0.06	15.62	0.08
17:18:22.28	-39:18:53.6	18.69	0.09	16.53	0.03	15.70	0.04
17:18:22.29	-39:18:14.7	17.10	0.01	16.30	0.02	15.75	0.04
17:18:22.29	-39:18:14.7	17.10	0.01	16.30	0.02	15.75	0.04
17:18:22.29	-39:19:22.5	17.59	0.09	16.79	0.07	16.92	0.29
17:18:22.31	-39:18:58.2	18.53	0.07	17.69	0.10	16.05	0.08
17:18:22.32	-39:18:52.2	16.84	0.01	15.11	0.01	14.13	0.01
17:18:22.32	-39:19: 5.2	18.23	0.12	16.98	0.08	16.08	0.10
17:18:22.32	-39:18:45.8	15.50	0.01	14.62	0.02	14.16	0.02
17:18:22.32	-39:18:48.2	16.53	0.03	14.98	0.02	14.36	0.03
17:18:22.33	-39:18:37.3	16.54	0.02	15.23	0.01	14.69	0.02
17:18:22.33	-39:19:10.0	18.35	0.13	16.98	0.08	15.95	0.09
17:18:22.34	-39:18:13.1	15.14	0.00	14.31	0.00	13.93	0.01
17:18:22.37	-39:19:29.4	17.17	0.08	17.74	0.19	18.42	1.39
17:18:22.37	-39:18:47.2	16.71	0.04	15.38	0.03	14.92	0.05
17:18:22.39	-39:19:15.5	16.11	0.02	14.91	0.01	14.48	0.02
17:18:22.40	-39:19: 7.7	15.83	0.01	15.06	0.01	14.65	0.02
17:18:22.40	-39:19: 7.7	15.83	0.01	15.06	0.01	14.65	0.02
17:18:22.41	-39:19:20.2	13.09	0.00	12.44	0.00	11.86	0.00
17:18:22.41	-39:19:10.6	19.76	0.55	17.99	0.21	17.09	0.27
17:18:22.42	-39:18:52.9	16.37	0.01	14.51	0.01	13.58	0.01
17:18:22.42	-39:19:14.0	17.10	0.05	14.73	0.01	13.61	0.01
17:18:22.42	-39:19:20.2	13.09	0.00	12.44	0.00	11.86	0.00
17:18:22.43	-39:18:36.5	15.78	0.01	14.33	0.01	13.61	0.01
17:18:22.43	-39:19:43.1	17.43	0.03	16.44	0.02	15.82	0.05

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:22.43	-39:18:21.4	12.85	0.00	12.23	0.00	11.61	0.00
17:18:22.43	-39:18:50.4	17.07	0.03	15.06	0.01	13.84	0.01
17:18:22.44	-39:19: 1.4	17.40	0.06	16.14	0.06	15.45	0.08
17:18:22.46	-39:18:39.6	17.36	0.02	15.87	0.02	15.12	0.02
17:18:22.46	-39:18:39.6	17.36	0.02	15.87	0.02	15.12	0.02
17:18:22.47	-39:18: 5.9	16.16	0.00	15.28	0.00	14.78	0.01
17:18:22.49	-39:18:15.1	18.00	0.02	16.84	0.02	15.98	0.03
17:18:22.49	-39:18:15.1	18.00	0.02	16.84	0.02	15.98	0.03
17:18:22.49	-39:18:48.5	16.03	0.01	13.89	0.00	12.88	0.00
17:18:22.51	-39:19:39.9	18.78	0.07	17.15	0.05	15.41	0.04
17:18:22.51	-39:19:43.4	17.43	0.03	16.44	0.02	15.64	0.04
17:18:22.54	-39:19: 3.7	17.60	0.06	15.64	0.03	14.44	0.02
17:18:22.55	-39:18:50.6	18.37	0.06	15.96	0.02	14.89	0.02
17:18:22.55	-39:18:25.1	17.33	0.02	16.17	0.02	15.18	0.03
17:18:22.55	-39:18:44.9	17.35	0.06	15.87	0.03	14.90	0.03
17:18:22.56	-39:19:54.2	15.89	0.00	15.20	0.01	14.83	0.01
17:18:22.56	-39:19: 8.2	16.34	0.02	15.58	0.02	14.91	0.03
17:18:22.57	-39:19:21.2	13.09	0.00	15.52	0.05	14.98	0.08
17:18:22.60	-39:19: 6.6	17.06	0.04	15.55	0.02	14.51	0.03
17:18:22.60	-39:18:36.8	18.48	0.13	16.84	0.08	15.95	0.08
17:18:22.61	-39:19:33.8	17.41	0.04	16.71	0.05	15.99	0.09
17:18:22.63	-39:18:44.1	17.30	0.05	15.55	0.02	14.56	0.02
17:18:22.64	-39:19:22.7	14.91	0.01	14.40	0.01	14.30	0.03
17:18:22.71	-39:18:31.0	18.29	0.05	16.58	0.03	16.18	0.05
17:18:22.71	-39:18: 4.6	16.02	0.00	15.37	0.01	15.07	0.01
17:18:22.74	-39:18:11.9	14.55	0.00	13.93	0.00	13.77	0.00
17:18:22.74	-39:19:23.4	14.91	0.01	15.21	0.03	15.04	0.06
17:18:22.75	-39:18:45.4	15.75	0.01	14.49	0.01	13.58	0.01
17:18:22.77	-39:19:10.9	18.41	0.16	17.86	0.13	16.28	0.09
17:18:22.77	-39:19: 9.8	18.41	0.16	17.43	0.10	16.62	0.13
17:18:22.77	-39:18:33.7	18.38	0.07	17.24	0.06	16.64	0.08
17:18:22.78	-39:18:16.7	17.03	0.01	15.72	0.01	15.16	0.02
17:18:22.82	-39:18:53.6	16.04	0.01	14.83	0.01	14.03	0.01
17:18:22.82	-39:19: 1.3	17.01	0.05	16.56	0.09	15.42	0.08
17:18:22.82	-39:19:13.8	19.64	0.38	16.31	0.03	14.86	0.03
17:18:22.86	-39:19:40.2	13.22	0.00	12.82	0.00	12.45	0.00
17:18:22.87	-39:18:17.9	17.03	0.01	17.19	0.03	16.24	0.06
17:18:22.87	-39:19:17.1	18.61	0.11	16.34	0.03	15.05	0.03
17:18:22.87	-39:19:33.8	16.91	0.05	16.82	0.08	15.17	0.06
17:18:22.88	-39:18: 7.5	17.67	0.02	16.70	0.02	16.36	0.04
17:18:22.88	-39:18:58.9	15.32	0.01	14.00	0.00	13.32	0.01
17:18:22.90	-39:18:11.2	14.55	0.00	16.77	0.02	15.96	0.02
17:18:22.95	-39:18:50.1	16.75	0.02	16.36	0.03	14.88	0.02
17:18:22.95	-39:19: 7.6	20.11	0.26	16.70	0.05	15.46	0.04
17:18:22.96	-39:18: 3.8	19.89	0.12	17.01	0.03	15.01	0.01
17:18:22.98	-39:19:50.7	17.83	0.03	16.74	0.03	16.15	0.05
17:18:22.99	-39:19: 3.0	19.07	0.10	18.10	0.17	16.57	0.12
17:18:22.99	-39:19:17.4	17.75	0.05	15.57	0.01	14.33	0.02
17:18:23.02	-39:18:35.5	17.07	0.01	16.28	0.01	15.98	0.04
17:18:23.02	-39:19: 8.5	19.50	0.25	16.37	0.02	15.17	0.02
17:18:23.03	-39:18:54.4	17.47	0.07	15.92	0.02	15.28	0.04
17:18:23.04	-39:18:57.0	15.70	0.01	14.39	0.00	13.69	0.01
17:18:23.06	-39:18: 0.7	15.15	0.00	14.56	0.00	14.24	0.00
17:18:23.07	-39:19: 0.9	17.30	0.06	16.25	0.03	15.88	0.08

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:23.08	-39:18: 6.6	17.86	0.02	17.08	0.03	15.93	0.03
17:18:23.08	-39:18: 6.6	17.86	0.02	17.08	0.03	15.93	0.03
17:18:23.09	-39:19:34.5	17.37	0.07	17.32	0.07	16.08	0.12
17:18:23.12	-39:19:17.4	17.46	0.05	15.68	0.03	14.60	0.03
17:18:23.12	-39:19: 4.9	16.78	0.01	15.69	0.02	15.21	0.03
17:18:23.14	-39:18: 6.1	17.86	0.02	16.97	0.03	15.65	0.03
17:18:23.14	-39:18: 6.1	17.86	0.02	16.97	0.03	15.65	0.03
17:18:23.15	-39:19:38.4	17.57	0.05	17.32	0.08	15.80	0.05
17:18:23.17	-39:18:53.3	17.60	0.06	16.60	0.04	16.17	0.06
17:18:23.17	-39:18:49.0	17.31	0.07	16.48	0.06	15.26	0.06
17:18:23.21	-39:19:52.3	15.84	0.01	15.08	0.01	14.68	0.02
17:18:23.22	-39:19:56.5	19.59	0.09	16.44	0.02	14.79	0.01
17:18:23.22	-39:19:15.0	21.70	2.43	17.00	0.06	17.08	0.19
17:18:23.22	-39:19:15.0	21.70	2.43	17.00	0.06	17.08	0.19
17:18:23.24	-39:19:26.3	15.94	0.01	14.99	0.01	14.26	0.01
17:18:23.24	-39:19: 5.6	15.05	0.01	13.66	0.00	12.65	0.01
17:18:23.26	-39:18:39.9	15.07	0.00	14.45	0.01	14.23	0.02
17:18:23.28	-39:18:58.4	16.57	0.03	16.60	0.05	15.55	0.05
17:18:23.29	-39:18: 2.4	15.39	0.00	14.74	0.00	14.42	0.01
17:18:23.31	-39:18:52.0	15.85	0.01	15.00	0.01	14.51	0.01
17:18:23.31	-39:19: 2.7	17.00	0.03	17.08	0.04	15.79	0.03
17:18:23.31	-39:18:56.3	13.44	0.00	12.94	0.00	12.56	0.00
17:18:23.32	-39:19:56.7	19.38	0.14	16.34	0.02	14.63	0.01
17:18:23.33	-39:18:27.9	13.02	0.00	12.62	0.00	12.30	0.00
17:18:23.34	-39:18:39.1	14.84	0.00	14.16	0.00	13.81	0.01
17:18:23.36	-39:18:41.9	16.87	0.05	16.00	0.04	15.08	0.08
17:18:23.37	-39:18:54.4	15.87	0.02	15.45	0.02	14.99	0.03
17:18:23.39	-39:19:48.9	17.31	0.04	16.71	0.05	15.76	0.06
17:18:23.39	-39:19:53.7	17.41	0.04	16.48	0.04	14.52	0.01
17:18:23.41	-39:18:31.2	17.90	0.14	16.50	0.07	15.21	0.05
17:18:23.42	-39:19: 6.2	16.98	0.07	15.66	0.05	14.94	0.07
17:18:23.43	-39:19:51.6	13.46	0.00	13.14	0.00	12.84	0.00
17:18:23.45	-39:18:25.9	16.55	0.03	15.55	0.01	14.66	0.02
17:18:23.46	-39:18:34.3	17.90	0.10	16.74	0.05	16.01	0.09
17:18:23.47	-39:18:56.5	14.56	0.01	13.49	0.00	13.07	0.01
17:18:23.48	-39:19:10.5	14.18	0.00	13.56	0.00	13.17	0.01
17:18:23.51	-39:19:57.8	16.51	0.01	15.79	0.01	15.32	0.03
17:18:23.51	-39:18:13.5	18.05	0.02	16.89	0.02	16.33	0.04
17:18:23.53	-39:18:21.4	18.49	0.04	17.90	0.08	17.96	0.25
17:18:23.53	-39:18:29.8	22.17	6.95	17.60	0.16	16.51	0.14
17:18:23.54	-39:19:17.5	18.55	0.21	17.22	0.11	16.46	0.14
17:18:23.55	-39:18:39.1	17.49	0.05	16.73	0.05	15.61	0.08
17:18:23.56	-39:18:33.8	17.40	0.07	16.79	0.07	15.73	0.08
17:18:23.56	-39:18: 6.4	16.01	0.00	15.23	0.00	14.85	0.01
17:18:23.63	-39:19:51.9	18.07	0.07	15.76	0.02	14.12	0.01
17:18:23.65	-39:18:30.0	17.72	0.08	16.76	0.05	15.80	0.06
17:18:23.67	-39:19: 3.7	13.12	0.00	14.78	0.02	14.67	0.04
17:18:23.68	-39:18:11.7	18.24	0.03	17.07	0.03	16.45	0.05
17:18:23.68	-39:18:11.7	18.24	0.03	17.07	0.03	16.45	0.05
17:18:23.68	-39:18: 3.4	14.44	0.00	13.86	0.00	13.55	0.00
17:18:23.73	-39:18:35.3	16.76	0.04	15.30	0.02	14.35	0.02
17:18:23.73	-39:19: 8.5	16.70	0.04	17.37	0.13	15.78	0.09
17:18:23.74	-39:19:10.9	14.37	0.00	17.88	0.08	15.92	0.04
17:18:23.75	-39:18:33.5	20.96	1.38	20.13	1.69	17.04	0.23

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:23.75	-39:19:19.0	17.35	0.03	17.00	0.05	15.62	0.04
17:18:23.75	-39:19:10.0	20.64	0.49	17.53	0.06	15.61	0.03
17:18:23.75	-39:19: 6.4	15.96	0.03	15.62	0.03	15.18	0.05
17:18:23.79	-39:19:52.2	17.25	0.03	16.55	0.03	16.03	0.05
17:18:23.81	-39:18:52.2	16.13	0.02	15.49	0.01	15.30	0.04
17:18:23.81	-39:18:27.4	18.18	0.14	17.02	0.07	15.93	0.07
17:18:23.81	-39:18:47.3	16.55	0.03	15.51	0.02	15.11	0.04
17:18:23.81	-39:19: 4.3	13.12	0.00	12.59	0.00	12.07	0.00
17:18:23.82	-39:18:19.9	20.47	0.25	18.36	0.07	16.46	0.03
17:18:23.82	-39:18:31.7	19.27	0.43	16.08	0.03	14.17	0.01
17:18:23.84	-39:18: 3.4	16.45	0.01	15.63	0.01	14.89	0.01
17:18:23.86	-39:18:45.2	17.13	0.10	16.77	0.13	16.05	0.16
17:18:23.89	-39:19:18.1	17.91	0.05	17.29	0.06	16.85	0.14
17:18:23.89	-39:19: 0.2	17.35	0.05	16.26	0.05	15.67	0.08
17:18:23.90	-39:18:29.8	16.36	0.03	15.84	0.03	15.07	0.04
17:18:23.93	-39:18:34.6	17.66	0.07	15.99	0.03	15.03	0.02
17:18:23.93	-39:18:47.4	16.18	0.01	14.95	0.01	14.40	0.01
17:18:23.94	-39:18:33.5	18.68	0.20	16.46	0.05	16.06	0.10
17:18:23.96	-39:19:37.9	16.35	0.04	15.96	0.05	15.40	0.09
17:18:23.96	-39:18:38.8	16.25	0.02	15.25	0.02	14.23	0.03
17:18:23.98	-39:19: 2.4	16.40	0.03	15.57	0.03	14.84	0.04
17:18:24.00	-39:19:15.3	17.86	0.03	16.93	0.03	15.26	0.02
17:18:24.01	-39:18:29.9	15.91	0.02	15.22	0.01	14.80	0.03
17:18:24.03	-39:19: 8.9	18.63	0.06	16.79	0.04	15.32	0.03
17:18:24.03	-39:19: 0.4	17.15	0.03	16.22	0.05	15.12	0.05
17:18:24.03	-39:19:58.0	16.00	0.01	15.53	0.01	14.70	0.01
17:18:24.04	-39:18:56.8	17.51	0.03	16.46	0.03	16.42	0.09
17:18:24.06	-39:19:29.1	16.85	0.03	16.04	0.02	15.51	0.06
17:18:24.08	-39:19: 1.6	16.77	0.03	15.71	0.03	14.24	0.02
17:18:24.08	-39:19: 4.7	16.99	0.04	16.26	0.05	15.44	0.07
17:18:24.10	-39:18: 1.6	17.30	0.01	16.58	0.01	16.23	0.02
17:18:24.11	-39:18:20.5	17.50	0.03	16.76	0.03	15.45	0.02
17:18:24.12	-39:18:31.4	13.42	0.00	12.99	0.00	12.75	0.00
17:18:24.12	-39:18:40.4	17.84	0.06	16.46	0.04	15.31	0.04
17:18:24.15	-39:18:52.6	19.24	0.29	16.34	0.03	15.10	0.03
17:18:24.16	-39:19: 0.1	18.55	0.10	16.98	0.09	15.97	0.10
17:18:24.16	-39:18:51.3	17.33	0.04	15.64	0.02	14.91	0.03
17:18:24.18	-39:19:57.2	14.92	0.00	14.31	0.00	13.89	0.01
17:18:24.18	-39:19:14.9	18.14	0.07	17.01	0.04	15.91	0.06
17:18:24.21	-39:19: 4.2	17.84	0.11	16.61	0.06	16.66	0.20
17:18:24.21	-39:19:17.0	17.70	0.04	16.06	0.02	15.09	0.03
17:18:24.23	-39:19:31.8	15.91	0.03	15.58	0.05	14.38	0.04
17:18:24.23	-39:19:45.1	18.60	0.06	17.52	0.05	16.46	0.06
17:18:24.25	-39:18:56.5	19.30	0.32	16.79	0.05	15.48	0.04
17:18:24.27	-39:19: 6.7	17.80	0.06	16.32	0.04	15.75	0.06
17:18:24.28	-39:18:28.8	17.27	0.04	16.76	0.04	15.66	0.04
17:18:24.28	-39:18:50.1	16.55	0.03	15.77	0.03	15.48	0.06
17:18:24.29	-39:18:48.2	17.43	0.04	15.95	0.02	15.29	0.03
17:18:24.31	-39:18:38.8	17.61	0.03	15.84	0.01	14.84	0.02
17:18:24.32	-39:19:56.5	17.06	0.03	16.04	0.02	15.08	0.02
17:18:24.33	-39:18:55.0	18.40	0.10	17.27	0.08	18.21	0.58
17:18:24.33	-39:18:58.6	17.68	0.05	17.09	0.07	17.09	0.22
17:18:24.34	-39:19:14.2	16.82	0.01	15.42	0.01	14.51	0.01
17:18:24.34	-39:18:24.0	15.61	0.00	14.88	0.00	14.60	0.01

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:24.34	-39:19:12.0	16.91	0.02	15.02	0.01	14.15	0.01
17:18:24.36	-39:19:15.2	16.95	0.02	15.69	0.02	14.91	0.02
17:18:24.36	-39:19: 3.6	16.30	0.02	14.98	0.01	14.53	0.02
17:18:24.37	-39:19:54.8	16.17	0.01	15.29	0.01	14.88	0.02
17:18:24.38	-39:19:10.8	15.50	0.01	13.99	0.00	13.17	0.01
17:18:24.42	-39:19:39.2	12.43	0.00	12.22	0.00	11.71	0.00
17:18:24.43	-39:18:41.1	15.70	0.01	13.78	0.00	12.69	0.00
17:18:24.44	-39:19:17.2	16.68	0.03	15.41	0.01	14.78	0.03
17:18:24.44	-39:18:10.7	16.09	0.01	13.95	0.00	12.76	0.00
17:18:24.45	-39:18:29.0	17.55	0.06	16.83	0.04	15.94	0.05
17:18:24.45	-39:18:53.1	18.13	0.08	16.31	0.04	15.11	0.03
17:18:24.45	-39:18:53.1	18.13	0.08	16.31	0.04	15.11	0.03
17:18:24.46	-39:18:31.2	16.48	0.04	15.15	0.02	14.55	0.03
17:18:24.46	-39:18: 6.3	18.19	0.05	16.63	0.02	15.76	0.03
17:18:24.47	-39:18:49.0	16.61	0.03	15.27	0.02	14.65	0.03
17:18:24.48	-39:18: 4.7	16.66	0.01	15.78	0.01	15.28	0.01
17:18:24.48	-39:19: 0.4	18.04	0.09	16.71	0.04	16.15	0.08
17:18:24.48	-39:18:51.9	18.70	0.20	16.35	0.05	15.49	0.05
17:18:24.48	-39:18: 9.6	16.54	0.01	14.45	0.00	13.34	0.00
17:18:24.50	-39:19:10.9	15.40	0.01	13.94	0.00	13.14	0.01
17:18:24.50	-39:19:29.5	18.46	0.13	17.51	0.09	16.44	0.08
17:18:24.51	-39:18:13.2	17.70	0.04	15.90	0.01	14.89	0.02
17:18:24.51	-39:19:54.6	15.14	0.00	14.51	0.00	14.14	0.01
17:18:24.54	-39:18:53.6	17.81	0.06	15.95	0.03	14.78	0.02
17:18:24.54	-39:19:46.9	18.10	0.05	17.48	0.05	17.18	0.11
17:18:24.57	-39:19:17.5	16.80	0.03	15.73	0.02	14.84	0.02
17:18:24.60	-39:18:28.3	16.89	0.02	15.84	0.01	15.25	0.02
17:18:24.60	-39:18:54.3	19.07	0.21	16.43	0.04	15.26	0.03
17:18:24.60	-39:18:30.1	15.00	0.01	14.41	0.01	14.19	0.02
17:18:24.60	-39:18:15.3	16.32	0.01	15.56	0.01	15.21	0.01
17:18:24.62	-39:18:19.4	18.54	0.04	17.55	0.04	16.88	0.06
17:18:24.63	-39:19:10.6	17.18	0.05	15.82	0.03	15.12	0.03
17:18:24.64	-39:19:16.3	17.36	0.03	16.41	0.02	15.36	0.02
17:18:24.64	-39:18: 7.5	19.36	0.10	17.07	0.03	16.21	0.03
17:18:24.65	-39:18:21.5	19.03	0.07	17.63	0.04	17.02	0.06
17:18:24.66	-39:19: 7.3	15.29	0.01	14.04	0.00	13.56	0.01
17:18:24.67	-39:18:10.9	16.64	0.01	15.81	0.01	15.36	0.01
17:18:24.67	-39:19: 4.2	17.47	0.05	16.29	0.03	15.69	0.05
17:18:24.67	-39:18:42.1	12.96	0.00	12.61	0.00	12.12	0.00
17:18:24.67	-39:18:42.1	12.96	0.00	12.61	0.00	12.12	0.00
17:18:24.68	-39:19:53.7	15.14	0.00	17.51	0.05	16.00	0.03
17:18:24.71	-39:19: 5.9	15.15	0.01	13.90	0.00	13.38	0.01
17:18:24.73	-39:18:37.8	18.75	0.08	17.12	0.04	16.83	0.11
17:18:24.73	-39:18:16.6	17.83	0.03	16.97	0.03	16.19	0.04
17:18:24.73	-39:19:43.4	16.09	0.02	15.48	0.02	15.25	0.04
17:18:24.74	-39:18:44.4	15.46	0.01	14.29	0.01	13.68	0.01
17:18:24.79	-39:19:20.1	16.54	0.05	15.38	0.03	14.26	0.03
17:18:24.79	-39:18: 2.7	16.88	0.01	15.75	0.02	15.15	0.02
17:18:24.80	-39:18: 5.9	16.17	0.01	15.42	0.01	15.05	0.01
17:18:24.82	-39:18:54.5	16.82	0.02	15.42	0.02	14.52	0.02
17:18:24.83	-39:19: 3.3	18.29	0.10	16.81	0.06	15.34	0.04
17:18:24.83	-39:18: 4.7	16.29	0.01	15.48	0.01	15.03	0.01
17:18:24.83	-39:18:47.3	17.43	0.04	16.10	0.03	15.45	0.04
17:18:24.86	-39:19:22.0	16.27	0.02	15.17	0.02	14.38	0.03

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:24.87	-39:18: 1.4	17.30	0.02	15.07	0.01	13.90	0.01
17:18:24.87	-39:19:36.0	17.28	0.03	16.25	0.03	15.62	0.04
17:18:24.87	-39:19:13.1	17.35	0.06	16.12	0.04	15.82	0.04
17:18:24.87	-39:18:28.5	18.18	0.05	16.78	0.02	15.73	0.03
17:18:24.87	-39:18:52.0	19.06	0.27	18.05	0.24	16.73	0.17
17:18:24.87	-39:18:52.0	19.06	0.27	18.05	0.24	16.73	0.17
17:18:24.88	-39:19:31.2	17.84	0.07	16.45	0.03	14.93	0.03
17:18:24.91	-39:18:18.4	18.71	0.07	17.27	0.03	16.40	0.04
17:18:24.91	-39:19:15.9	16.56	0.01	16.03	0.02	14.75	0.02
17:18:24.91	-39:18:48.2	16.66	0.02	15.31	0.01	14.68	0.02
17:18:24.92	-39:18:55.0	18.09	0.07	16.20	0.03	15.19	0.04
17:18:24.93	-39:19:25.8	16.54	0.03	15.44	0.02	14.60	0.02
17:18:24.95	-39:18:42.5	15.11	0.01	13.94	0.01	13.45	0.01
17:18:24.95	-39:18:15.0	19.07	0.07	18.07	0.06	17.33	0.10
17:18:24.96	-39:18:44.8	18.99	0.28	17.10	0.14	16.65	0.20
17:18:24.97	-39:18: 4.3	17.98	0.02	16.82	0.03	15.67	0.02
17:18:24.97	-39:19:42.5	17.15	0.02	16.25	0.02	14.79	0.02
17:18:24.99	-39:19:14.4	16.54	0.04	15.78	0.03	15.48	0.05
17:18:25.00	-39:19: 7.9	12.99	0.00	12.49	0.00	12.00	0.00
17:18:25.00	-39:19: 7.9	12.98	0.00	12.49	0.00	12.00	0.00
17:18:25.00	-39:18:36.6	18.50	0.11	17.30	0.09	16.54	0.11
17:18:25.01	-39:18:22.3	17.70	0.04	16.32	0.02	15.82	0.04
17:18:25.01	-39:18:58.0	20.81	0.96	20.59	1.59	17.73	0.34
17:18:25.02	-39:18:23.7	16.98	0.02	15.58	0.01	14.94	0.02
17:18:25.03	-39:18:34.3	16.67	0.01	14.65	0.00	13.64	0.00
17:18:25.04	-39:18:28.6	16.57	0.02	15.84	0.02	15.45	0.04
17:18:25.04	-39:18:51.0	16.70	0.03	15.64	0.02	15.13	0.04
17:18:25.04	-39:19:29.7	17.87	0.06	18.01	0.13	16.61	0.12
17:18:25.08	-39:18: 8.9	16.00	0.00	14.19	0.00	13.25	0.00
17:18:25.08	-39:18:41.6	17.14	0.04	16.06	0.03	15.68	0.05
17:18:25.09	-39:18:59.9	17.81	0.04	16.48	0.03	15.72	0.04
17:18:25.10	-39:18:10.5	17.16	0.02	15.65	0.01	15.08	0.02
17:18:25.11	-39:19:13.2	16.84	0.08	16.27	0.08	17.12	0.41
17:18:25.11	-39:19:18.5	18.59	0.33	16.16	0.06	15.22	0.08
17:18:25.13	-39:18:44.0	16.51	0.02	14.97	0.01	14.30	0.02
17:18:25.14	-39:19: 1.8	18.20	0.07	16.60	0.04	16.16	0.05
17:18:25.14	-39:19:26.1	15.54	0.01	14.32	0.01	13.75	0.01
17:18:25.15	-39:18:47.1	14.82	0.00	12.74	0.00	11.75	0.00
17:18:25.16	-39:18:33.0	17.34	0.03	15.94	0.01	15.15	0.02
17:18:25.16	-39:19: 6.5	13.29	0.00	12.80	0.00	12.45	0.00
17:18:25.17	-39:18:56.6	17.14	0.03	15.78	0.02	14.69	0.02
17:18:25.18	-39:18:14.7	18.98	0.11	17.09	0.03	16.55	0.05
17:18:25.18	-39:18:14.7	18.98	0.11	17.09	0.03	16.55	0.05
17:18:25.19	-39:18:36.0	18.36	0.14	16.89	0.07	16.16	0.08
17:18:25.21	-39:19:28.0	16.78	0.03	15.35	0.01	14.91	0.03
17:18:25.21	-39:18:51.5	16.35	0.01	15.25	0.01	14.81	0.02
17:18:25.22	-39:18:18.5	17.03	0.02	16.42	0.02	16.32	0.05
17:18:25.23	-39:18:11.6	18.48	0.05	17.04	0.03	16.32	0.05
17:18:25.23	-39:18:11.6	18.48	0.05	17.04	0.03	16.32	0.05
17:18:25.23	-39:18: 0.7	18.47	0.05	17.16	0.03	16.10	0.02
17:18:25.23	-39:18: 0.7	18.47	0.05	17.16	0.03	16.10	0.02
17:18:25.24	-39:18:42.6	16.86	0.03	15.45	0.02	14.77	0.02
17:18:25.24	-39:18:54.1	17.61	0.05	16.20	0.03	15.59	0.04
17:18:25.26	-39:18:38.2	13.45	0.00	12.85	0.00	12.32	0.00

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:25.27	-39:19:22.0	15.88	0.02	14.37	0.01	13.95	0.02
17:18:25.29	-39:19:57.8	18.40	0.05	17.35	0.05	16.60	0.05
17:18:25.30	-39:19:54.8	18.16	0.05	16.70	0.03	15.52	0.02
17:18:25.31	-39:19:24.5	16.12	0.04	16.15	0.07	15.45	0.07
17:18:25.32	-39:18:23.4	17.03	0.02	15.35	0.01	14.85	0.01
17:18:25.32	-39:19:55.7	18.21	0.05	16.70	0.03	15.61	0.03
17:18:25.32	-39:19:29.9	17.38	0.03	16.64	0.03	17.85	0.31
17:18:25.33	-39:18:25.9	13.54	0.00	12.32	0.00	11.47	0.00
17:18:25.37	-39:18:40.2	17.71	0.08	16.53	0.05	16.29	0.08
17:18:25.37	-39:19: 4.3	15.87	0.03	15.79	0.06	15.22	0.09
17:18:25.38	-39:18:14.4	18.67	0.05	17.81	0.05	17.19	0.09
17:18:25.38	-39:18:14.4	18.67	0.05	17.81	0.05	17.19	0.09
17:18:25.38	-39:19:17.6	16.23	0.04	14.86	0.02	13.79	0.02
17:18:25.39	-39:18:43.5	17.03	0.03	15.38	0.01	14.49	0.01
17:18:25.39	-39:18:45.7	17.76	0.04	16.59	0.04	15.90	0.05
17:18:25.40	-39:19:14.7	17.34	0.15	16.91	0.19	15.69	0.11
17:18:25.44	-39:19: 0.5	16.82	0.03	15.86	0.02	15.58	0.04
17:18:25.44	-39:18:42.4	16.63	0.02	15.07	0.01	14.42	0.01
17:18:25.45	-39:18:31.2	17.15	0.03	16.15	0.03	16.02	0.07
17:18:25.46	-39:19:23.0	13.61	0.00	12.79	0.00	12.21	0.00
17:18:25.47	-39:18:55.0	20.49	0.62	17.36	0.06	16.57	0.08
17:18:25.47	-39:18:18.2	18.96	0.10	16.58	0.02	15.52	0.02
17:18:25.48	-39:19: 2.5	17.69	0.09	16.82	0.09	17.24	0.26
17:18:25.51	-39:18:57.7	16.72	0.03	15.64	0.02	15.27	0.04
17:18:25.54	-39:19:16.4	14.83	0.01	13.65	0.01	13.09	0.01
17:18:25.59	-39:19: 0.1	16.61	0.03	15.74	0.03	15.45	0.05
17:18:25.61	-39:18:58.6	15.37	0.01	14.68	0.01	14.42	0.02
17:18:25.62	-39:19:29.3	18.84	0.11	17.75	0.09	17.16	0.16
17:18:25.62	-39:19:29.3	18.84	0.11	17.75	0.09	17.16	0.16
17:18:25.62	-39:19:23.0	15.59	0.02	14.71	0.02	14.56	0.04
17:18:25.62	-39:19:27.5	17.18	0.03	16.10	0.02	15.80	0.06
17:18:25.65	-39:18:18.0	16.96	0.01	16.03	0.01	15.82	0.03
17:18:25.67	-39:19:17.4	15.09	0.01	13.82	0.00	13.34	0.00
17:18:25.67	-39:19:55.2	14.57	0.00	12.81	0.00	11.78	0.00
17:18:25.69	-39:19:25.2	13.84	0.00	12.98	0.00	12.41	0.00
17:18:25.70	-39:18:21.8	17.29	0.03	16.76	0.03	16.00	0.05
17:18:25.70	-39:19:12.9	14.12	0.01	13.20	0.00	13.22	0.01
17:18:25.71	-39:18:54.6	16.80	0.03	15.75	0.02	15.18	0.03
17:18:25.73	-39:19:15.5	17.96	0.23	16.36	0.11	15.50	0.08
17:18:25.74	-39:19: 6.1	12.22	0.01	13.93	0.01	14.42	0.01
17:18:25.77	-39:18:53.6	16.85	0.03	15.57	0.02	15.01	0.02
17:18:25.78	-39:19: 0.6	18.17	0.10	15.12	0.01	13.72	0.01
17:18:25.78	-39:18:31.1	15.01	0.01	14.19	0.01	13.79	0.01
17:18:25.80	-39:19:17.6	16.10	0.01	15.26	0.01	14.81	0.02
17:18:25.80	-39:18:57.0	13.88	0.00	12.96	0.00	12.40	0.00
17:18:25.84	-39:18:18.6	17.72	0.03	16.01	0.01	15.24	0.02
17:18:25.85	-39:18:19.8	17.04	0.01	15.49	0.00	14.61	0.01
17:18:25.87	-39:19:26.6	13.49	0.00	12.61	0.00	11.85	0.00
17:18:25.87	-39:18:10.4	17.05	0.02	15.78	0.01	14.95	0.01
17:18:25.88	-39:19: 2.4	20.08	0.46	17.62	0.09	16.35	0.08
17:18:25.88	-39:19:29.1	17.12	0.03	16.42	0.02	14.72	0.02
17:18:25.90	-39:18:58.6	16.82	0.03	15.52	0.02	15.02	0.02
17:18:25.91	-39:18:54.4	17.24	0.02	16.40	0.01	16.18	0.05
17:18:25.91	-39:19:42.1	19.36	0.18	16.18	0.02	14.90	0.02

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:25.92	-39:18:42.8	17.18	0.02	15.71	0.01	15.05	0.01
17:18:25.99	-39:19:57.0	18.48	0.05	16.71	0.02	15.79	0.03
17:18:26.00	-39:19:22.7	16.70	0.02	15.80	0.02	15.59	0.03
17:18:26.01	-39:18:36.8	15.99	0.01	15.26	0.01	14.90	0.02
17:18:26.01	-39:18:50.1	17.64	0.02	16.04	0.01	14.87	0.01
17:18:26.01	-39:18:30.2	15.96	0.01	14.09	0.00	13.19	0.00
17:18:26.03	-39:18:39.8	18.76	0.09	16.75	0.03	15.58	0.03
17:18:26.04	-39:19:12.6	17.90	0.05	16.30	0.03	15.74	0.04
17:18:26.04	-39:18:58.7	16.92	0.02	16.09	0.02	15.52	0.03
17:18:26.06	-39:18:27.1	18.09	0.07	16.70	0.03	16.07	0.04
17:18:26.06	-39:19:27.4	16.56	0.02	15.66	0.02	15.51	0.05
17:18:26.06	-39:18: 9.7	16.76	0.03	16.00	0.03	15.76	0.03
17:18:26.13	-39:19: 1.3	18.00	0.06	16.49	0.03	15.42	0.03
17:18:26.14	-39:19:23.9	16.87	0.03	16.26	0.03	16.02	0.04
17:18:26.17	-39:19: 3.2	15.87	0.01	14.67	0.00	14.03	0.01
17:18:26.17	-39:18:30.4	17.37	0.02	15.91	0.01	15.21	0.02
17:18:26.18	-39:19:29.1	15.41	0.00	14.26	0.00	13.75	0.01
17:18:26.20	-39:19: 9.5	14.92	0.00	14.31	0.00	14.07	0.01
17:18:26.20	-39:18:41.9	21.10	0.69	17.39	0.04	16.43	0.05
17:18:26.21	-39:19:22.5	16.09	0.01	15.35	0.01	14.90	0.01
17:18:26.22	-39:19:49.9	14.73	0.00	14.20	0.00	14.03	0.00
17:18:26.25	-39:18:59.7	18.00	0.07	16.75	0.04	16.36	0.07
17:18:26.25	-39:19:35.5	18.36	0.07	17.71	0.08	16.95	0.10
17:18:26.27	-39:19:29.4	15.48	0.00	14.45	0.00	13.93	0.01
17:18:26.27	-39:19:18.5	14.87	0.00	13.66	0.00	13.09	0.00
17:18:26.27	-39:19: 8.2	15.54	0.01	15.38	0.01	15.23	0.03
17:18:26.29	-39:19:11.0	15.97	0.01	16.28	0.03	15.74	0.05
17:18:26.30	-39:19:47.0	16.54	0.02	15.67	0.01	15.32	0.02
17:18:26.34	-39:19:34.1	16.25	0.01	15.55	0.01	15.02	0.02
17:18:26.35	-39:19: 6.9	16.60	0.01	15.32	0.01	14.82	0.01
17:18:26.35	-39:18:52.2	20.22	0.40	17.57	0.07	16.85	0.09
17:18:26.36	-39:18:57.6	17.84	0.03	17.00	0.03	16.61	0.06
17:18:26.36	-39:19:57.3	17.53	0.02	16.62	0.01	16.43	0.04
17:18:26.40	-39:19:23.1	15.30	0.00	14.04	0.00	13.51	0.00
17:18:26.41	-39:19:32.8	14.62	0.00	14.09	0.00	13.88	0.01
17:18:26.42	-39:19:27.3	16.15	0.01	15.30	0.00	14.99	0.01
17:18:26.42	-39:19:10.7	17.33	0.03	16.18	0.02	15.61	0.03
17:18:26.44	-39:18:49.4	17.97	0.04	16.32	0.01	15.53	0.02
17:18:26.45	-39:18:48.2	18.01	0.04	16.43	0.01	15.69	0.02
17:18:26.45	-39:18:32.9	19.87	0.24	17.37	0.04	16.10	0.03
17:18:26.45	-39:19:40.7	20.84	0.75	18.33	0.14	17.79	0.26
17:18:26.46	-39:18:15.4	15.65	0.00	15.54	0.01	15.36	0.02
17:18:26.46	-39:18:12.7	17.58	0.02	15.84	0.01	14.65	0.01
17:18:26.47	-39:18: 4.6	14.53	0.01	16.42	0.05	16.47	0.08
17:18:26.47	-39:18: 4.6	14.53	0.01	16.42	0.05	16.47	0.08
17:18:26.48	-39:18:11.3	16.23	0.01	14.29	0.00	13.36	0.00
17:18:26.49	-39:18:16.6	15.65	0.00	14.97	0.01	14.56	0.01
17:18:26.50	-39:19: 3.6	13.29	0.00	12.95	0.00	12.63	0.00
17:18:26.52	-39:18:18.5	17.28	0.03	16.71	0.03	16.06	0.05
17:18:26.52	-39:18:53.2	18.24	0.04	17.01	0.02	15.90	0.03
17:18:26.52	-39:19:15.0	16.82	0.02	15.66	0.01	15.07	0.02
17:18:26.53	-39:19:57.3	16.61	0.01	15.93	0.01	15.43	0.01
17:18:26.55	-39:18:35.7	18.44	0.05	17.30	0.03	16.47	0.05
17:18:26.55	-39:19: 0.9	16.66	0.02	15.52	0.01	15.07	0.02

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:26.56	-39:19: 8.5	18.67	0.09	18.25	0.14	16.41	0.07
17:18:26.57	-39:19:46.8	18.39	0.07	16.81	0.03	15.73	0.04
17:18:26.59	-39:19:37.4	18.89	0.09	17.80	0.08	16.46	0.07
17:18:26.60	-39:18:34.0	19.83	0.27	17.05	0.03	15.31	0.01
17:18:26.61	-39:19:21.1	14.55	0.00	13.98	0.00	13.67	0.00
17:18:26.64	-39:18:52.0	15.62	0.00	14.92	0.00	14.77	0.01
17:18:26.64	-39:19:17.2	18.69	0.09	18.25	0.08	17.03	0.06
17:18:26.66	-39:19:39.9	19.29	0.20	17.13	0.07	15.72	0.05
17:18:26.68	-39:19: 7.5	17.38	0.02	16.03	0.02	15.34	0.03
17:18:26.68	-39:18:22.8	18.53	0.05	17.04	0.04	16.08	0.04
17:18:26.69	-39:19:34.2	17.52	0.02	15.54	0.01	14.05	0.01
17:18:26.69	-39:18:16.5	18.21	0.05	16.96	0.05	15.55	0.03
17:18:26.70	-39:19:51.5	18.69	0.07	16.93	0.03	16.09	0.04
17:18:26.72	-39:19:29.4	16.55	0.01	15.11	0.00	14.40	0.01
17:18:26.73	-39:18:40.4	17.00	0.01	15.86	0.01	14.94	0.01
17:18:26.75	-39:18:34.9	19.00	0.09	16.46	0.01	15.43	0.02
17:18:26.77	-39:19: 7.4	16.55	0.01	15.25	0.01	14.66	0.01
17:18:26.78	-39:18:49.5	14.11	0.00	13.54	0.00	13.30	0.00
17:18:26.80	-39:18:10.6	15.44	0.00	14.64	0.00	14.22	0.00
17:18:26.85	-39:18:39.4	16.56	0.01	15.57	0.01	15.16	0.01
17:18:26.85	-39:18:52.5	17.75	0.03	16.68	0.03	16.59	0.06
17:18:26.85	-39:18:52.5	17.75	0.03	16.68	0.03	16.59	0.06
17:18:26.87	-39:19:49.6	18.22	0.03	17.02	0.02	16.06	0.03
17:18:26.91	-39:19:13.8	16.91	0.01	16.13	0.01	15.85	0.03
17:18:26.92	-39:19:26.2	16.53	0.01	14.93	0.00	14.15	0.01
17:18:26.92	-39:19:45.0	19.35	0.11	18.17	0.07	16.64	0.06
17:18:26.95	-39:18:41.9	16.93	0.01	15.99	0.01	15.66	0.03
17:18:26.96	-39:18: 6.9	17.46	0.02	16.19	0.01	15.48	0.02
17:18:26.96	-39:18: 6.9	17.46	0.02	16.19	0.01	15.48	0.02
17:18:26.96	-39:18:22.1	17.25	0.02	15.65	0.01	14.81	0.01
17:18:26.96	-39:18:27.9	18.82	0.07	17.90	0.06	17.11	0.07
17:18:26.97	-39:18:19.0	16.46	0.01	14.67	0.00	13.85	0.00
17:18:26.98	-39:19: 4.4	17.59	0.03	15.49	0.01	14.03	0.01
17:18:26.99	-39:19: 7.2	19.70	0.27	17.79	0.07	16.24	0.04
17:18:26.99	-39:18:33.9	18.02	0.03	17.08	0.03	16.55	0.05
17:18:26.99	-39:19:23.0	18.02	0.03	17.19	0.04	16.98	0.11
17:18:27.01	-39:18:17.4	18.37	0.03	16.71	0.02	15.94	0.02
17:18:27.02	-39:18:45.2	18.94	0.06	17.22	0.04	16.29	0.05
17:18:27.03	-39:19: 1.2	18.83	0.08	16.16	0.01	14.98	0.02
17:18:27.03	-39:18:31.2	16.60	0.01	15.69	0.01	15.26	0.01
17:18:27.03	-39:18: 7.6	16.97	0.01	15.77	0.01	15.06	0.01
17:18:27.05	-39:19:11.5	14.95	0.00	13.92	0.00	13.47	0.00
17:18:27.05	-39:18:46.6	17.53	0.01	15.97	0.01	15.26	0.02
17:18:27.06	-39:19: 5.4	17.12	0.02	15.84	0.01	14.66	0.01
17:18:27.06	-39:19:42.5	18.06	0.04	16.04	0.01	14.58	0.01
17:18:27.07	-39:19:20.3	18.25	0.06	17.15	0.04	16.13	0.05
17:18:27.08	-39:18:50.0	18.22	0.04	16.46	0.02	15.50	0.02
17:18:27.11	-39:19:27.9	16.06	0.01	15.13	0.01	14.59	0.01
17:18:27.15	-39:19:39.1	17.57	0.02	16.54	0.02	17.17	0.11
17:18:27.16	-39:18: 2.0	17.96	0.03	16.86	0.02	16.32	0.03
17:18:27.16	-39:18: 2.0	17.96	0.03	16.86	0.02	16.32	0.03
17:18:27.18	-39:19:20.1	18.71	0.08	17.52	0.05	16.62	0.08
17:18:27.18	-39:19:40.8	15.77	0.00	15.15	0.00	14.92	0.01
17:18:27.19	-39:19:35.9	17.14	0.02	16.32	0.01	15.98	0.04

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:27.20	-39:19: 0.8	17.86	0.04	16.57	0.02	15.93	0.04
17:18:27.21	-39:19:26.6	18.45	0.06	17.43	0.05	16.61	0.08
17:18:27.24	-39:18:26.6	17.23	0.01	16.34	0.01	15.98	0.03
17:18:27.25	-39:19:22.6	18.64	0.09	17.53	0.06	18.26	0.41
17:18:27.25	-39:19: 9.5	18.36	0.06	16.60	0.03	15.27	0.02
17:18:27.25	-39:18: 0.0	15.77	0.00	13.78	0.00	12.77	0.00
17:18:27.25	-39:18: 0.0	15.77	0.00	13.78	0.00	12.77	0.00
17:18:27.27	-39:18:44.6	17.65	0.02	16.65	0.03	16.51	0.07
17:18:27.28	-39:19:33.8	17.46	0.02	16.46	0.02	16.32	0.07
17:18:27.29	-39:18:36.6	17.92	0.02	16.35	0.01	15.62	0.01
17:18:27.33	-39:19:10.8	19.65	0.19	16.84	0.03	15.74	0.03
17:18:27.36	-39:18:47.0	18.94	0.06	18.63	0.11	16.03	0.03
17:18:27.38	-39:19: 4.9	20.45	0.23	17.33	0.03	15.85	0.02
17:18:27.39	-39:18:55.6	17.93	0.02	16.99	0.02	16.44	0.04
17:18:27.43	-39:18:40.0	18.04	0.02	16.75	0.02	16.22	0.03
17:18:27.44	-39:18:15.7	18.76	0.08	16.94	0.03	16.15	0.04
17:18:27.44	-39:18:44.8	18.45	0.05	17.25	0.05	16.57	0.08
17:18:27.45	-39:19:24.0	18.46	0.06	17.32	0.04	16.99	0.08
17:18:27.47	-39:18: 7.6	16.06	0.01	14.95	0.00	14.23	0.01
17:18:27.48	-39:18:43.1	15.81	0.00	14.99	0.01	14.60	0.01
17:18:27.49	-39:19: 1.1	18.31	0.03	16.42	0.02	15.77	0.03
17:18:27.50	-39:18:17.8	18.82	0.08	16.95	0.04	16.03	0.04
17:18:27.50	-39:19:10.0	15.56	0.00	14.88	0.00	14.71	0.01
17:18:27.59	-39:19: 5.5	17.89	0.04	15.88	0.01	14.60	0.01
17:18:27.59	-39:18:39.8	17.50	0.02	15.76	0.01	14.73	0.01
17:18:27.61	-39:18:51.7	19.94	0.15	17.91	0.05	16.94	0.08
17:18:27.64	-39:18:42.3	17.32	0.02	15.61	0.01	14.69	0.01
17:18:27.69	-39:18:10.7	18.09	0.03	16.73	0.02	15.85	0.02
17:18:27.69	-39:19:48.8	17.12	0.01	16.25	0.01	15.81	0.02
17:18:27.70	-39:19:39.7	18.64	0.05	16.90	0.02	15.92	0.03
17:18:27.70	-39:19:30.3	18.08	0.03	16.47	0.02	15.85	0.03
17:18:27.73	-39:18: 5.0	18.09	0.03	16.47	0.02	15.47	0.01
17:18:27.75	-39:18:22.1	17.47	0.02	15.50	0.01	14.56	0.01
17:18:27.75	-39:18:26.0	16.93	0.01	15.94	0.01	15.44	0.02
17:18:27.77	-39:19:48.0	17.12	0.01	16.25	0.01	15.68	0.02
17:18:27.78	-39:19:19.7	18.07	0.06	15.91	0.02	14.36	0.02
17:18:27.79	-39:18:52.6	18.71	0.08	16.39	0.02	15.51	0.03
17:18:27.79	-39:18:52.6	18.71	0.08	16.39	0.02	15.51	0.03
17:18:27.79	-39:18:31.2	17.22	0.02	15.33	0.00	14.43	0.01
17:18:27.80	-39:18:10.0	17.58	0.01	16.66	0.01	15.97	0.02
17:18:27.81	-39:19:54.7	18.30	0.03	17.41	0.02	17.46	0.08
17:18:27.82	-39:18:53.9	17.63	0.03	15.92	0.01	15.20	0.02
17:18:27.82	-39:18:37.4	16.38	0.01	15.76	0.01	15.59	0.02
17:18:27.83	-39:18:29.3	18.49	0.05	17.31	0.03	16.91	0.07
17:18:27.83	-39:19:25.2	19.21	0.14	17.34	0.05	15.94	0.03
17:18:27.83	-39:19:34.4	14.56	0.00	14.16	0.00	14.07	0.01
17:18:27.83	-39:19:40.8	20.31	0.25	17.85	0.04	16.62	0.04
17:18:27.83	-39:18:57.4	20.26	0.26	17.61	0.04	16.59	0.05
17:18:27.86	-39:18:47.2	22.28	1.75	17.91	0.09	16.61	0.07
17:18:27.86	-39:19:43.2	15.61	0.00	15.06	0.00	14.80	0.01
17:18:27.86	-39:18:32.6	18.28	0.04	16.09	0.01	15.22	0.02
17:18:27.88	-39:19: 0.7	18.79	0.06	17.62	0.04	16.76	0.07
17:18:27.92	-39:18:52.0	18.87	0.05	16.85	0.02	16.00	0.02
17:18:27.92	-39:18:52.0	18.87	0.05	16.85	0.02	16.00	0.02

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:27.92	-39:19:15.9	18.36	0.06	17.46	0.06	15.92	0.05
17:18:27.95	-39:19:45.8	16.13	0.00	15.35	0.00	14.99	0.01
17:18:27.97	-39:19:26.1	17.28	0.02	16.22	0.01	15.88	0.03
17:18:27.97	-39:18:19.3	18.28	0.05	16.67	0.03	15.87	0.03
17:18:27.98	-39:18:40.8	16.25	0.00	14.10	0.00	13.20	0.00
17:18:27.99	-39:19:55.7	17.72	0.02	16.79	0.02	16.17	0.03
17:18:28.00	-39:18:27.4	16.73	0.01	16.03	0.01	15.63	0.02
17:18:28.01	-39:18:20.9	18.33	0.05	16.31	0.02	15.37	0.03
17:18:28.01	-39:19:37.8	16.95	0.01	16.07	0.01	15.59	0.03
17:18:28.02	-39:18:22.1	17.64	0.02	15.90	0.01	14.98	0.01
17:18:28.04	-39:19: 6.1	21.64	0.84	17.74	0.05	16.77	0.06
17:18:28.05	-39:18:12.6	18.67	0.04	17.05	0.02	16.40	0.03
17:18:28.06	-39:19: 9.0	16.95	0.01	16.07	0.01	15.98	0.03
17:18:28.06	-39:18: 8.4	17.25	0.01	15.84	0.01	15.06	0.01
17:18:28.09	-39:19:52.0	17.04	0.01	16.20	0.01	15.81	0.03
17:18:28.09	-39:19:24.8	15.09	0.00	13.81	0.00	13.09	0.00
17:18:28.10	-39:18: 1.5	19.35	0.09	17.14	0.03	16.14	0.03
17:18:28.10	-39:18: 1.5	19.35	0.09	17.14	0.03	16.14	0.03
17:18:28.12	-39:18:28.7	17.49	0.02	15.93	0.01	15.09	0.01
17:18:28.12	-39:19:38.4	17.55	0.02	16.39	0.01	15.47	0.02
17:18:28.18	-39:18:20.6	16.19	0.01	15.49	0.01	15.13	0.01
17:18:28.23	-39:19:49.9	14.96	0.00	13.74	0.00	12.93	0.00
17:18:28.25	-39:19:58.2	17.55	0.03	16.77	0.03	16.48	0.05
17:18:28.26	-39:18: 2.9	17.60	0.01	15.89	0.01	14.91	0.01
17:18:28.27	-39:18: 0.3	21.30	0.56	16.42	0.02	14.97	0.01
17:18:28.27	-39:18:15.9	18.18	0.02	16.71	0.02	15.93	0.02
17:18:28.32	-39:19:10.7	17.59	0.01	16.72	0.01	16.48	0.04
17:18:28.33	-39:19:27.1	17.26	0.01	16.44	0.01	15.90	0.03
17:18:28.34	-39:18:36.3	19.05	0.13	16.65	0.02	15.59	0.03
17:18:28.38	-39:19:24.7	16.56	0.01	15.66	0.01	15.31	0.02
17:18:28.39	-39:18:50.8	18.15	0.04	16.36	0.02	15.19	0.02
17:18:28.42	-39:19: 2.0	15.23	0.00	14.62	0.00	14.49	0.01
17:18:28.43	-39:18:49.4	18.19	0.04	16.95	0.02	16.21	0.04
17:18:28.48	-39:19:40.5	17.78	0.03	16.50	0.03	15.25	0.03
17:18:28.52	-39:19:37.7	17.81	0.04	16.62	0.03	15.65	0.04
17:18:28.53	-39:18:56.0	18.12	0.04	17.27	0.03	16.02	0.04
17:18:28.53	-39:19:39.7	17.80	0.04	16.04	0.01	14.86	0.02
17:18:28.54	-39:18:20.2	19.75	0.08	17.23	0.03	16.26	0.04
17:18:28.57	-39:19:13.2	15.91	0.01	15.36	0.01	15.29	0.01
17:18:28.59	-39:19:42.2	18.16	0.05	17.29	0.04	15.99	0.04
17:18:28.61	-39:18:59.2	18.29	0.10	17.11	0.06	16.51	0.14
17:18:28.64	-39:18:42.8	15.31	0.00	14.47	0.00	14.14	0.01
17:18:28.65	-39:19: 7.2	19.60	0.20	17.49	0.05	16.86	0.09
17:18:28.66	-39:18:15.6	18.41	0.03	16.99	0.03	16.18	0.03
17:18:28.66	-39:18:11.5	16.65	0.01	15.91	0.01	15.53	0.01
17:18:28.67	-39:19:46.7	17.97	0.03	15.92	0.01	14.80	0.01
17:18:28.68	-39:18:28.9	18.19	0.05	17.09	0.02	16.12	0.03
17:18:28.68	-39:19:15.7	12.55	0.00	12.40	0.00	11.72	0.00
17:18:28.69	-39:18: 1.6	17.67	0.01	16.73	0.01	16.06	0.02
17:18:28.69	-39:18: 1.6	17.67	0.01	16.73	0.01	16.06	0.02
17:18:28.70	-39:18:57.4	18.31	0.07	17.63	0.06	16.08	0.05
17:18:28.70	-39:19:54.0	14.46	0.00	13.97	0.00	13.76	0.00
17:18:28.71	-39:18:48.6	17.66	0.02	15.80	0.01	14.61	0.01
17:18:28.71	-39:19:32.2	19.92	0.20	17.64	0.04	15.65	0.02

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:28.72	-39:19:41.5	18.14	0.07	17.07	0.05	15.78	0.05
17:18:28.74	-39:18:27.4	16.84	0.01	15.88	0.01	15.27	0.01
17:18:28.75	-39:19:45.5	18.46	0.04	17.30	0.04	15.79	0.04
17:18:28.75	-39:18:24.2	18.06	0.03	15.80	0.01	14.70	0.01
17:18:28.77	-39:18:59.4	18.28	0.09	17.50	0.09	15.96	0.08
17:18:28.78	-39:19:13.3	15.52	0.00	14.91	0.00	14.75	0.01
17:18:28.81	-39:19:28.5	17.08	0.01	16.47	0.02	16.14	0.05
17:18:28.83	-39:19:11.7	17.20	0.01	16.53	0.02	15.76	0.03
17:18:28.84	-39:18:26.9	17.14	0.01	15.79	0.01	15.01	0.01
17:18:28.85	-39:18:45.4	15.21	0.00	14.48	0.00	14.23	0.01
17:18:28.85	-39:19:22.1	16.79	0.01	13.40	0.00	11.92	0.00
17:18:28.86	-39:19: 7.2	18.14	0.07	16.00	0.02	14.99	0.02
17:18:28.88	-39:19: 4.8	16.93	0.04	16.12	0.03	16.07	0.10
17:18:28.90	-39:18:59.2	17.81	0.05	17.31	0.06	15.93	0.05
17:18:28.91	-39:18:15.1	17.50	0.01	15.75	0.01	14.84	0.01
17:18:28.93	-39:18:53.5	16.99	0.01	15.72	0.01	14.95	0.02
17:18:28.94	-39:18:45.8	15.21	0.00	14.48	0.00	14.57	0.01
17:18:28.94	-39:19:34.4	16.34	0.01	15.63	0.01	15.26	0.02
17:18:28.94	-39:18:16.5	18.56	0.04	16.83	0.02	15.81	0.02
17:18:28.95	-39:19:28.8	18.18	0.04	16.76	0.02	16.05	0.03
17:18:28.95	-39:19: 9.1	19.85	0.24	19.59	0.48	18.59	0.66
17:18:28.96	-39:19:43.1	16.63	0.01	15.98	0.01	15.36	0.02
17:18:29.00	-39:18:19.5	17.84	0.03	16.51	0.02	15.81	0.02
17:18:29.04	-39:18:10.8	16.97	0.01	15.93	0.01	15.42	0.01
17:18:29.05	-39:18:44.3	16.50	0.01	15.45	0.01	14.86	0.02
17:18:29.05	-39:18:42.9	17.07	0.01	15.65	0.01	14.88	0.01
17:18:29.05	-39:19:46.8	17.11	0.02	16.08	0.01	15.38	0.02
17:18:29.06	-39:19:17.0	16.01	0.01	19.98	0.46	17.59	0.11
17:18:29.06	-39:18:55.8	18.74	0.08	17.45	0.05	15.86	0.04
17:18:29.08	-39:19: 1.9	16.95	0.02	16.18	0.02	15.63	0.04
17:18:29.09	-39:18:19.6	18.05	0.04	16.58	0.02	15.75	0.02
17:18:29.10	-39:18: 5.0	16.59	0.01	15.83	0.01	15.39	0.01
17:18:29.11	-39:18:50.5	19.46	0.11	17.15	0.03	15.99	0.03
17:18:29.11	-39:18:46.5	17.09	0.03	16.32	0.02	15.86	0.04
17:18:29.14	-39:19: 3.7	19.48	0.31	18.43	0.18	16.50	0.10
17:18:29.15	-39:18:35.1	17.72	0.02	16.06	0.01	15.25	0.01
17:18:29.17	-39:19:42.7	18.24	0.07	17.17	0.04	16.45	0.07
17:18:29.18	-39:18:10.4	16.16	0.00	14.73	0.00	13.91	0.00
17:18:29.18	-39:19: 5.2	19.51	0.16	17.70	0.08	16.21	0.06
17:18:29.19	-39:19:37.4	17.89	0.04	16.80	0.03	16.26	0.05
17:18:29.19	-39:19:25.5	16.00	0.01	15.35	0.01	14.98	0.01
17:18:29.19	-39:18: 5.1	16.76	0.01	16.04	0.01	15.53	0.01
17:18:29.19	-39:18: 5.1	16.76	0.01	16.04	0.01	15.53	0.01
17:18:29.20	-39:18: 7.8	16.03	0.01	15.06	0.01	14.54	0.01
17:18:29.21	-39:18:40.4	18.94	0.09	18.01	0.08	16.75	0.09
17:18:29.21	-39:18: 8.9	15.55	0.00	14.50	0.00	13.94	0.00
17:18:29.21	-39:19:27.6	19.75	0.10	18.55	0.07	16.71	0.05
17:18:29.21	-39:18:56.3	18.92	0.14	18.20	0.10	19.40	0.80
17:18:29.21	-39:18:18.7	17.99	0.02	16.83	0.02	16.30	0.03
17:18:29.21	-39:18:27.9	19.94	0.15	17.16	0.02	16.16	0.03
17:18:29.24	-39:18:37.3	17.33	0.02	16.08	0.01	15.45	0.02
17:18:29.26	-39:18:21.2	17.00	0.01	16.16	0.01	15.79	0.01
17:18:29.27	-39:18:27.6	20.12	0.18	17.15	0.02	16.10	0.03
17:18:29.27	-39:19:34.9	17.45	0.01	16.70	0.01	16.42	0.04

$\alpha(\text{J2000})$ (h m s)	$\delta(\text{J2000})$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
17:18:29.34	-39:19:57.0	17.77	0.03	17.05	0.03	16.50	0.04
17:18:29.35	-39:18:44.6	15.30	0.00	14.52	0.00	13.83	0.00
17:18:29.37	-39:18:43.6	15.58	0.00	14.60	0.00	13.82	0.00
17:18:29.38	-39:19:25.9	17.50	0.01	16.76	0.02	16.42	0.05
17:18:29.40	-39:18:56.9	16.96	0.02	15.64	0.01	14.83	0.01

D.2. Magnitudes J, H y Ks de las Fuentes Detectadas en la Región de IRAS 12272–6240

$\alpha(\text{J2000})$ (h m s)	$\delta(\text{J2000})$ ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:29:55.55	-62:56:47.8	18.26	0.01	17.28	0.01	16.91	0.03
12:29:55.57	-62:56:51.7	18.61	0.02	17.62	0.03	17.44	0.05
12:29:55.61	-62:56:30.9	18.26	0.02	17.28	0.02	17.07	0.04
12:29:55.62	-62:56: 4.9	17.19	0.01	16.26	0.02	15.95	0.02
12:29:55.62	-62:56:26.8	17.32	0.01	16.43	0.01	16.25	0.02
12:29:55.64	-62:57: 1.8	18.12	0.01	17.00	0.01	16.76	0.03
12:29:55.64	-62:56:57.3	19.64	0.03	18.25	0.03	17.79	0.06
12:29:55.66	-62:56:37.8	21.68	0.29	18.78	0.07	18.21	0.10
12:29:55.69	-62:57:35.0	21.35	0.17	18.91	0.05	17.77	0.07
12:29:55.70	-62:56: 6.9	17.91	0.02	16.95	0.03	16.08	0.02
12:29:55.71	-62:56:33.2	18.29	0.01	17.20	0.01	16.72	0.03
12:29:55.75	-62:56:29.3	18.80	0.03	17.69	0.02	17.65	0.07
12:29:55.75	-62:56:29.3	18.79	0.03	17.70	0.03	17.65	0.07
12:29:55.76	-62:56: 9.8	16.45	0.01	15.70	0.01	15.55	0.01
12:29:55.76	-62:56:34.3	18.83	0.02	17.55	0.02	17.06	0.04
12:29:55.77	-62:56:32.6	18.16	0.01	17.02	0.01	16.68	0.03
12:29:55.78	-62:56: 3.1	17.89	0.02	17.03	0.02	16.99	0.04
12:29:55.83	-62:57:25.0	15.17	0.00	13.82	0.00	13.34	0.00
12:29:55.83	-62:55:52.8	20.76	0.15	17.67	0.03	15.86	0.01
12:29:55.86	-62:56:30.8	18.09	0.02	16.95	0.02	16.84	0.04
12:29:55.88	-62:56:10.1	16.23	0.00	15.47	0.01	15.25	0.01
12:29:55.88	-62:57:39.0	18.90	0.03	17.80	0.03	17.69	0.07
12:29:55.91	-62:56: 6.7	17.91	0.02	17.42	0.04	14.91	0.01
12:29:55.92	-62:56:40.0	17.87	0.01	17.01	0.01	16.65	0.03
12:29:55.93	-62:57:45.9	16.39	0.00	15.56	0.00	15.20	0.01
12:29:55.94	-62:57:16.3	16.33	0.00	15.54	0.00	15.24	0.01
12:29:55.97	-62:56:25.5	18.60	0.02	17.71	0.03	17.58	0.06
12:29:55.97	-62:56: 1.1	17.30	0.01	16.40	0.01	16.24	0.02
12:29:56.02	-62:57:42.5	16.38	0.00	15.82	0.01	15.70	0.01
12:29:56.02	-62:55:56.9	14.84	0.00	14.14	0.00	14.00	0.00
12:29:56.02	-62:57:26.1	16.91	0.00	13.82	0.00	16.01	0.01
12:29:56.04	-62:56:44.3	17.72	0.01	17.00	0.01	16.51	0.02
12:29:56.05	-62:56:10.0	16.64	0.00	15.81	0.01	15.81	0.01
12:29:56.05	-62:57: 4.1	18.41	0.01	17.44	0.02	17.00	0.03
12:29:56.08	-62:55:51.1	18.44	0.02	17.43	0.03	17.63	0.09
12:29:56.12	-62:56:38.3	21.97	0.69	18.47	0.07	17.62	0.07
12:29:56.13	-62:56:53.0	18.88	0.02	18.23	0.04	18.03	0.09

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) (° ' '')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:29:56.21	-62:56:31.8	17.64	0.01	16.58	0.01	16.21	0.02
12:29:56.21	-62:56:44.2	17.72	0.01	17.00	0.01	16.46	0.02
12:29:56.24	-62:57:42.2	16.83	0.00	16.03	0.01	16.26	0.02
12:29:56.27	-62:56:16.3	18.20	0.01	17.22	0.01	17.00	0.03
12:29:56.29	-62:57:19.8	17.77	0.01	16.78	0.01	16.48	0.02
12:29:56.30	-62:57:39.6	17.68	0.01	16.78	0.01	16.50	0.02
12:29:56.32	-62:56: 2.7	17.86	0.01	17.12	0.02	16.94	0.03
12:29:56.33	-62:56: 5.0	18.08	0.01	17.11	0.02	16.92	0.03
12:29:56.36	-62:55:54.1	18.47	0.02	17.63	0.03	17.13	0.05
12:29:56.36	-62:56:59.6	18.71	0.02	17.75	0.03	17.25	0.05
12:29:56.36	-62:56:41.2	18.06	0.01	17.36	0.02	17.06	0.04
12:29:56.40	-62:56:53.7	18.47	0.01	17.25	0.02	16.73	0.03
12:29:56.41	-62:56:28.3	17.38	0.01	16.75	0.01	16.54	0.02
12:29:56.42	-62:56:42.9	18.99	0.03	18.49	0.08	18.28	0.13
12:29:56.48	-62:56:25.9	18.18	0.01	17.30	0.02	17.29	0.04
12:29:56.49	-62:57:47.5	18.44	0.02	17.24	0.02	16.83	0.03
12:29:56.52	-62:55:52.9	18.90	0.03	18.25	0.06	18.04	0.11
12:29:56.56	-62:57:43.9	18.14	0.02	17.43	0.02	17.35	0.06
12:29:56.62	-62:56:44.8	18.90	0.03	18.10	0.05	17.83	0.10
12:29:56.63	-62:55:58.8	18.30	0.02	17.22	0.02	16.91	0.03
12:29:56.66	-62:56:47.0	17.18	0.01	16.47	0.01	16.15	0.02
12:29:56.67	-62:57:25.2	19.02	0.02	18.20	0.05	17.21	0.05
12:29:56.67	-62:57:25.2	19.02	0.02	18.20	0.05	17.21	0.05
12:29:56.67	-62:57:23.9	19.73	0.03	18.26	0.04	16.68	0.02
12:29:56.70	-62:56:33.5	18.14	0.01	17.31	0.02	16.95	0.03
12:29:56.71	-62:56:11.1	14.43	0.00	13.19	0.00	12.90	0.00
12:29:56.74	-62:56: 7.9	15.97	0.00	14.68	0.00	14.36	0.00
12:29:56.76	-62:57:10.0	18.93	0.02	17.89	0.04	17.80	0.07
12:29:56.78	-62:56:18.2	18.19	0.01	17.23	0.02	16.89	0.03
12:29:56.85	-62:57: 6.4	16.35	0.00	15.53	0.00	15.37	0.01
12:29:56.86	-62:56:32.7	18.27	0.01	17.29	0.02	16.96	0.03
12:29:56.87	-62:57:12.4	15.41	0.00	14.70	0.00	14.49	0.00
12:29:56.87	-62:57:44.8	15.79	0.00	15.26	0.01	15.23	0.01
12:29:56.88	-62:56:58.8	18.80	0.02	17.85	0.02	17.53	0.05
12:29:56.88	-62:56:34.2	18.58	0.02	17.62	0.03	17.54	0.05
12:29:56.90	-62:56:46.0	16.74	0.01	15.55	0.01	15.18	0.01
12:29:56.90	-62:57:42.6	17.80	0.05	17.14	0.06	17.01	0.06
12:29:56.90	-62:57:25.5	19.43	0.03	18.15	0.03	17.67	0.06
12:29:56.90	-62:57:25.5	19.43	0.03	18.15	0.03	17.67	0.06
12:29:56.92	-62:56:26.6	19.05	0.03	18.36	0.05	17.88	0.07
12:29:56.94	-62:57:37.2	18.49	0.02	17.58	0.03	17.19	0.05
12:29:57.00	-62:56:12.7	18.50	0.02	18.01	0.04	17.67	0.06
12:29:57.03	-62:56: 8.6	17.44	0.01	16.55	0.01	16.61	0.03
12:29:57.03	-62:56: 0.6	19.77	0.08	17.93	0.04	17.06	0.03
12:29:57.05	-62:56:30.2	18.78	0.03	17.74	0.03	17.36	0.05
12:29:57.07	-62:55:55.0	15.79	0.00	15.25	0.00	15.25	0.01
12:29:57.08	-62:56:45.4	17.30	0.01	15.83	0.01	15.85	0.01
12:29:57.11	-62:57:41.8	17.82	0.06	17.06	0.05	16.79	0.06
12:29:57.19	-62:57: 2.5	17.49	0.01	16.80	0.01	16.57	0.02
12:29:57.24	-62:56:16.6	18.48	0.02	17.46	0.02	17.19	0.04
12:29:57.24	-62:56:40.7	19.30	0.03	17.99	0.03	17.71	0.06
12:29:57.31	-62:56:22.7	16.60	0.00	15.89	0.00	15.72	0.01
12:29:57.33	-62:55:58.3	16.16	0.00	15.65	0.01	15.62	0.01
12:29:57.33	-62:56:32.5	15.60	0.00	14.66	0.00	14.29	0.00

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:29:57.36	-62:56:37.6	17.65	0.01	16.69	0.01	16.34	0.02
12:29:57.36	-62:57:18.5	19.12	0.03	17.79	0.03	17.44	0.05
12:29:57.41	-62:56:33.5	15.60	0.00	14.66	0.00	14.69	0.00
12:29:57.45	-62:56:20.4	18.14	0.01	17.19	0.02	17.01	0.04
12:29:57.46	-62:56:49.6	18.79	0.02	17.82	0.03	17.47	0.05
12:29:57.48	-62:55:59.5	17.48	0.01	16.75	0.01	17.12	0.04
12:29:57.50	-62:57:30.5	19.68	0.03	16.86	0.01	14.94	0.01
12:29:57.56	-62:57: 7.1	16.30	0.00	15.28	0.00	14.88	0.00
12:29:57.56	-62:55:51.6	18.82	0.02	17.93	0.03	17.37	0.04
12:29:57.57	-62:56:52.7	17.91	0.01	17.14	0.02	17.03	0.03
12:29:57.58	-62:57:35.8	16.66	0.01	15.78	0.01	15.46	0.01
12:29:57.60	-62:56:45.9	16.75	0.00	16.02	0.01	15.71	0.01
12:29:57.61	-62:56: 4.5	19.35	0.04	18.61	0.08	18.26	0.11
12:29:57.62	-62:57:48.4	18.01	0.05	17.02	0.07	16.41	0.05
12:29:57.63	-62:56:57.4	16.34	0.00	15.23	0.00	14.85	0.00
12:29:57.64	-62:57:24.6	17.42	0.00	16.26	0.01	15.77	0.01
12:29:57.66	-62:57:33.1	20.65	0.08	17.97	0.03	16.72	0.03
12:29:57.69	-62:56:19.7	17.38	0.01	16.46	0.01	16.26	0.02
12:29:57.70	-62:56:45.3	16.75	0.00	16.02	0.01	15.59	0.01
12:29:57.70	-62:57:12.1	17.88	0.01	16.94	0.01	16.71	0.02
12:29:57.72	-62:57:13.2	17.88	0.01	16.94	0.01	16.55	0.02
12:29:57.72	-62:56: 6.7	19.14	0.03	18.25	0.05	18.17	0.09
12:29:57.74	-62:57:16.8	15.23	0.00	13.88	0.00	15.72	0.01
12:29:57.74	-62:56:38.4	18.13	0.03	17.42	0.03	17.11	0.04
12:29:57.75	-62:57:28.2	18.89	0.02	18.24	0.04	17.91	0.07
12:29:57.76	-62:55:54.4	17.01	0.00	16.01	0.00	15.74	0.01
12:29:57.82	-62:56:31.4	17.55	0.01	16.74	0.01	16.51	0.02
12:29:57.82	-62:57:34.9	18.32	0.02	16.22	0.01	14.57	0.00
12:29:57.82	-62:56:14.0	18.76	0.03	18.02	0.04	17.66	0.06
12:29:57.86	-62:56:47.2	18.79	0.03	17.71	0.03	17.44	0.05
12:29:57.87	-62:56:35.9	13.55	0.00	13.06	0.00	13.08	0.00
12:29:57.89	-62:57:20.7	18.74	0.02	17.74	0.02	17.47	0.05
12:29:57.89	-62:57:18.0	15.23	0.00	13.89	0.00	13.44	0.00
12:29:57.92	-62:56:27.2	18.11	0.01	16.87	0.01	16.40	0.02
12:29:58.04	-62:56: 9.1	18.80	0.02	17.73	0.02	17.57	0.05
12:29:58.04	-62:56:56.0	16.08	0.00	15.29	0.00	15.11	0.01
12:29:58.06	-62:56:33.9	13.55	0.00	16.48	0.01	16.50	0.03
12:29:58.07	-62:56:39.7	17.44	0.01	16.75	0.01	16.71	0.03
12:29:58.08	-62:56:58.4	16.49	0.00	18.05	0.05	17.36	0.05
12:29:58.10	-62:56:52.2	17.98	0.01	16.95	0.01	16.50	0.02
12:29:58.10	-62:56:52.2	17.98	0.01	16.93	0.01	16.51	0.02
12:29:58.11	-62:56:57.1	16.49	0.00	15.27	0.00	15.64	0.01
12:29:58.15	-62:56:23.2	14.20	0.00	13.81	0.00	13.81	0.00
12:29:58.16	-62:57:48.3	17.11	0.02	16.61	0.05	15.66	0.03
12:29:58.20	-62:56:50.4	18.08	0.01	17.03	0.02	16.80	0.03
12:29:58.21	-62:56:14.3	17.26	0.01	16.63	0.01	16.46	0.02
12:29:58.24	-62:57:23.1	18.47	0.01	17.27	0.02	16.86	0.03
12:29:58.26	-62:55:52.1	17.99	0.01	17.06	0.01	16.69	0.02
12:29:58.27	-62:56:44.6	18.34	0.01	17.50	0.02	17.12	0.03
12:29:58.29	-62:57:15.0	17.64	0.01	16.44	0.01	16.00	0.01
12:29:58.33	-62:57:24.8	20.48	0.10	18.89	0.09	17.70	0.06
12:29:58.33	-62:57:24.8	20.48	0.10	18.89	0.09	17.70	0.06
12:29:58.36	-62:57:34.6	19.15	0.03	17.84	0.04	17.22	0.05
12:29:58.38	-62:56:58.1	19.16	0.04	18.23	0.05	18.28	0.11

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:29:58.42	-62:56:32.7	16.22	0.00	15.51	0.00	15.30	0.01
12:29:58.44	-62:57:29.3	18.02	0.01	16.98	0.02	16.58	0.03
12:29:58.46	-62:56: 1.2	18.74	0.02	17.69	0.02	17.16	0.04
12:29:58.46	-62:56: 1.2	18.74	0.02	17.69	0.02	17.16	0.04
12:29:58.47	-62:57:47.3	17.72	0.02	16.28	0.03	16.00	0.03
12:29:58.50	-62:57:32.2	20.61	0.11	18.50	0.05	17.64	0.06
12:29:58.53	-62:57:26.8	19.80	0.05	17.66	0.03	16.28	0.02
12:29:58.54	-62:57:45.4	17.36	0.04	16.34	0.05	16.39	0.07
12:29:58.56	-62:55:58.2	16.38	0.00	15.22	0.00	14.85	0.00
12:29:58.58	-62:55:54.2	16.76	0.00	15.95	0.01	15.81	0.01
12:29:58.59	-62:56:58.8	17.69	0.01	16.87	0.01	16.63	0.02
12:29:58.64	-62:56:47.9	15.79	0.00	16.32	0.01	17.33	0.05
12:29:58.64	-62:57: 8.9	20.29	0.07	18.46	0.05	17.32	0.05
12:29:58.64	-62:57:20.6	18.05	0.01	17.05	0.01	16.34	0.02
12:29:58.66	-62:57:48.8	17.93	0.02	17.02	0.03	16.30	0.02
12:29:58.67	-62:56:21.1	19.24	0.03	18.28	0.05	17.55	0.06
12:29:58.67	-62:56:40.7	17.62	0.01	16.67	0.01	16.39	0.02
12:29:58.69	-62:55:55.1	16.76	0.00	15.98	0.01	15.77	0.01
12:29:58.72	-62:57:41.2	17.48	0.02	16.51	0.03	16.27	0.04
12:29:58.74	-62:56:46.4	15.79	0.00	14.98	0.00	14.62	0.00
12:29:58.75	-62:57:20.3	17.99	0.01	16.78	0.01	16.27	0.01
12:29:58.76	-62:56:34.2	18.65	0.02	17.77	0.02	17.58	0.05
12:29:58.77	-62:56:41.8	17.84	0.01	16.81	0.01	16.59	0.02
12:29:58.80	-62:56:12.2	19.30	0.03	18.34	0.04	17.90	0.06
12:29:58.80	-62:56:12.2	19.30	0.03	18.34	0.04	17.90	0.06
12:29:58.82	-62:56:52.0	17.54	0.01	16.51	0.01	16.22	0.02
12:29:58.85	-62:57:37.8	18.65	0.04	17.80	0.04	17.32	0.05
12:29:58.88	-62:56:22.1	19.10	0.03	16.44	0.01	15.24	0.01
12:29:58.89	-62:56:19.6	17.11	0.00	16.51	0.01	16.34	0.02
12:29:58.90	-62:56:46.8	15.98	0.00	14.98	0.00	14.88	0.01
12:29:58.92	-62:56: 1.8	18.83	0.02	17.85	0.03	17.66	0.05
12:29:58.98	-62:57:27.9	18.86	0.02	17.73	0.02	17.00	0.03
12:29:59.05	-62:55:59.5	19.47	0.04	18.10	0.03	17.14	0.04
12:29:59.05	-62:57: 2.0	17.39	0.01	16.54	0.01	16.24	0.02
12:29:59.06	-62:56:58.3	19.85	0.05	18.69	0.06	18.73	0.15
12:29:59.07	-62:56:53.2	18.52	0.02	17.50	0.02	17.26	0.04
12:29:59.08	-62:57: 5.2	18.21	0.02	17.17	0.02	16.99	0.03
12:29:59.10	-62:55:58.1	19.08	0.03	17.74	0.03	17.21	0.04
12:29:59.10	-62:57:41.0	18.97	0.05	18.13	0.07	17.84	0.08
12:29:59.16	-62:55:51.5	16.91	0.00	16.19	0.01	16.14	0.02
12:29:59.19	-62:56: 2.9	18.77	0.02	17.84	0.03	17.62	0.06
12:29:59.19	-62:56:15.7	18.64	0.02	17.65	0.02	17.32	0.04
12:29:59.20	-62:55:54.5	19.29	0.04	18.65	0.07	19.12	0.23
12:29:59.22	-62:57:39.2	18.39	0.03	17.62	0.03	17.60	0.06
12:29:59.23	-62:56:23.5	17.49	0.01	16.66	0.01	16.38	0.02
12:29:59.32	-62:56:34.7	16.16	0.00	14.98	0.00	14.65	0.00
12:29:59.36	-62:56:31.2	15.48	0.00	14.22	0.00	13.79	0.00
12:29:59.42	-62:57:37.8	17.29	0.01	16.66	0.01	16.74	0.03
12:29:59.43	-62:57: 5.0	18.19	0.01	17.08	0.01	16.77	0.03
12:29:59.43	-62:57:47.4	18.82	0.02	17.71	0.03	17.33	0.05
12:29:59.47	-62:55:54.7	17.65	0.01	16.75	0.01	16.47	0.02
12:29:59.47	-62:56: 6.4	18.56	0.01	17.74	0.02	17.41	0.04
12:29:59.52	-62:57: 6.8	17.85	0.01	16.74	0.01	16.34	0.02
12:29:59.52	-62:57:12.0	18.70	0.02	17.94	0.03	17.66	0.06

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:29:59.53	-62:56:31.5	16.29	0.00	14.22	0.00	14.27	0.00
12:29:59.56	-62:56:55.3	18.40	0.01	17.48	0.02	17.05	0.03
12:29:59.60	-62:57:16.6	19.58	0.04	18.27	0.04	17.88	0.06
12:29:59.62	-62:57:43.8	17.71	0.01	16.64	0.01	16.07	0.01
12:29:59.64	-62:56:25.6	18.89	0.02	17.86	0.03	17.21	0.04
12:29:59.65	-62:56:31.0	16.50	0.00	15.08	0.00	15.72	0.01
12:29:59.68	-62:57: 9.4	15.09	0.00	14.18	0.00	13.96	0.00
12:29:59.72	-62:56:27.0	18.80	0.02	17.35	0.01	15.94	0.01
12:29:59.73	-62:57:23.7	17.27	0.00	16.45	0.01	16.14	0.01
12:29:59.73	-62:56:39.4	18.66	0.02	17.96	0.03	17.72	0.07
12:29:59.77	-62:56:57.6	18.10	0.01	17.08	0.01	16.67	0.03
12:29:59.79	-62:57:37.6	14.34	0.00	13.85	0.00	13.80	0.00
12:29:59.80	-62:57:10.4	15.09	0.00	14.18	0.00	14.81	0.01
12:29:59.80	-62:57:30.3	19.89	0.07	18.33	0.05	16.85	0.03
12:29:59.87	-62:57:16.7	19.19	0.03	18.06	0.03	17.93	0.07
12:29:59.87	-62:55:54.2	16.14	0.00	15.56	0.01	15.74	0.01
12:29:59.88	-62:56: 4.0	18.04	0.01	17.05	0.01	16.85	0.03
12:29:59.88	-62:57:47.1	18.01	0.01	17.08	0.02	16.65	0.03
12:29:59.89	-62:56:31.3	18.89	0.02	17.78	0.03	17.71	0.06
12:29:59.91	-62:56:26.1	17.75	0.01	16.68	0.01	16.36	0.02
12:29:59.91	-62:57: 2.1	17.65	0.01	16.72	0.01	16.41	0.02
12:29:59.91	-62:57:32.0	18.84	0.02	17.93	0.03	17.23	0.04
12:29:59.92	-62:55:52.7	14.85	0.00	14.22	0.00	14.06	0.00
12:29:59.96	-62:56: 5.3	17.40	0.01	16.61	0.01	16.53	0.02
12:30: 0.02	-62:56:12.0	17.24	0.00	16.43	0.01	16.28	0.02
12:30: 0.06	-62:57:13.7	17.69	0.01	16.74	0.01	16.31	0.02
12:30: 0.08	-62:56: 6.5	16.45	0.00	15.69	0.00	15.51	0.01
12:30: 0.12	-62:56:17.5	20.44	0.09	19.48	0.13	18.01	0.08
12:30: 0.12	-62:56:39.1	14.75	0.00	13.53	0.00	13.16	0.00
12:30: 0.13	-62:55:55.3	19.30	0.04	18.23	0.04	18.16	0.11
12:30: 0.17	-62:56:59.2	14.34	0.00	13.19	0.00	12.81	0.00
12:30: 0.18	-62:57:41.2	14.53	0.00	13.09	0.00	12.58	0.00
12:30: 0.19	-62:56:23.2	17.92	0.01	17.24	0.01	16.74	0.02
12:30: 0.21	-62:56: 0.4	17.43	0.01	17.08	0.01	17.03	0.04
12:30: 0.24	-62:57:47.0	16.94	0.01	16.02	0.01	15.65	0.01
12:30: 0.25	-62:57:36.6	17.53	0.01	16.88	0.01	16.69	0.02
12:30: 0.28	-62:56:19.2	19.30	0.04	18.28	0.05	17.89	0.08
12:30: 0.31	-62:56:16.8	18.32	0.02	17.51	0.03	17.16	0.04
12:30: 0.35	-62:56:54.0	18.91	0.02	18.07	0.03	17.54	0.05
12:30: 0.37	-62:56:22.9	17.52	0.01	16.54	0.01	16.23	0.01
12:30: 0.38	-62:56:42.3	18.17	0.02	17.24	0.02	17.04	0.04
12:30: 0.38	-62:56:17.9	18.10	0.01	17.18	0.02	16.92	0.03
12:30: 0.40	-62:57:20.3	19.23	0.03	18.23	0.04	17.71	0.06
12:30: 0.40	-62:56: 4.3	16.33	0.00	15.45	0.00	15.18	0.01
12:30: 0.40	-62:57: 7.9	17.23	0.01	16.40	0.01	16.15	0.01
12:30: 0.41	-62:56:27.4	19.09	0.02	18.06	0.02	17.92	0.06
12:30: 0.45	-62:57: 6.4	18.33	0.01	17.17	0.01	17.42	0.05
12:30: 0.48	-62:55:59.3	13.80	0.00	13.07	0.00	12.95	0.00
12:30: 0.52	-62:57:48.4	18.12	0.02	16.94	0.02	16.61	0.03
12:30: 0.52	-62:57:14.0	18.41	0.02	17.34	0.02	16.79	0.03
12:30: 0.57	-62:57:32.7	19.03	0.02	18.15	0.03	17.79	0.06
12:30: 0.58	-62:57:40.5	16.97	0.00	16.05	0.01	15.81	0.01
12:30: 0.59	-62:56:32.6	18.33	0.02	17.44	0.02	17.19	0.04
12:30: 0.60	-62:57:46.1	19.01	0.03	17.36	0.02	16.45	0.02

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ $''$ $'$)	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 0.62	-62:56:16.9	18.18	0.01	17.15	0.02	16.91	0.03
12:30: 0.66	-62:56:24.8	18.26	0.01	18.10	0.03	17.42	0.06
12:30: 0.67	-62:56: 0.5	16.31	0.00	15.08	0.00	15.75	0.01
12:30: 0.68	-62:57:30.8	17.20	0.00	16.47	0.01	16.42	0.02
12:30: 0.68	-62:56:48.5	15.62	0.00	14.81	0.00	14.53	0.00
12:30: 0.75	-62:57: 2.5	19.30	0.02	18.24	0.03	17.97	0.08
12:30: 0.76	-62:57:16.5	16.56	0.00	15.88	0.01	15.87	0.01
12:30: 0.77	-62:56:54.4	18.58	0.02	17.68	0.03	17.45	0.05
12:30: 0.78	-62:57: 5.1	17.79	0.01	16.82	0.01	16.45	0.02
12:30: 0.78	-62:56:43.3	19.50	0.05	18.53	0.07	17.39	0.05
12:30: 0.80	-62:56:12.3	18.92	0.02	17.88	0.03	17.47	0.05
12:30: 0.81	-62:56:46.9	17.31	0.01	14.81	0.00	16.51	0.03
12:30: 0.82	-62:56: 7.7	18.89	0.02	17.89	0.03	17.51	0.05
12:30: 0.83	-62:56:26.4	18.17	0.01	17.17	0.02	16.76	0.03
12:30: 0.88	-62:56:31.5	17.58	0.01	16.93	0.01	16.39	0.02
12:30: 0.90	-62:56:24.5	16.80	0.00	15.59	0.00	15.18	0.01
12:30: 0.90	-62:56:44.0	19.32	0.04	17.94	0.04	17.35	0.05
12:30: 0.92	-62:56: 0.2	17.80	0.02	16.93	0.02	16.78	0.03
12:30: 0.93	-62:57:12.4	20.37	0.09	18.42	0.04	17.24	0.04
12:30: 0.93	-62:57:17.7	15.16	0.00	14.50	0.00	14.31	0.00
12:30: 0.93	-62:56:15.0	19.31	0.03	18.50	0.05	18.19	0.10
12:30: 0.98	-62:57:14.4	19.24	0.03	17.93	0.03	17.25	0.04
12:30: 0.99	-62:56:59.3	17.67	0.01	16.74	0.01	16.41	0.02
12:30: 1.00	-62:56:25.8	17.64	0.01	16.26	0.01	16.10	0.02
12:30: 1.01	-62:57: 8.8	18.58	0.02	17.64	0.02	17.65	0.06
12:30: 1.01	-62:56:32.1	17.52	0.01	16.69	0.01	16.46	0.02
12:30: 1.01	-62:55:59.4	17.91	0.02	17.02	0.02	16.85	0.04
12:30: 1.03	-62:56:37.5	17.51	0.01	16.48	0.01	16.15	0.02
12:30: 1.10	-62:57:16.5	16.92	0.01	14.50	0.00	16.68	0.04
12:30: 1.10	-62:56:52.3	18.19	0.01	17.30	0.02	16.96	0.03
12:30: 1.11	-62:56:21.0	18.75	0.01	17.94	0.03	17.82	0.07
12:30: 1.22	-62:56:25.4	18.96	0.02	17.70	0.02	17.55	0.06
12:30: 1.23	-62:57:22.7	16.14	0.00	15.47	0.00	15.46	0.01
12:30: 1.23	-62:56:38.7	17.17	0.01	16.30	0.01	16.07	0.01
12:30: 1.28	-62:56:55.5	14.94	0.00	13.82	0.00	13.46	0.00
12:30: 1.30	-62:56:42.6	15.75	0.00	15.21	0.00	15.10	0.01
12:30: 1.31	-62:57:43.4	18.38	0.02	16.68	0.01	15.66	0.01
12:30: 1.32	-62:55:59.1	17.77	0.01	16.74	0.01	16.36	0.02
12:30: 1.36	-62:56:36.2	18.47	0.01	17.61	0.02	17.45	0.05
12:30: 1.40	-62:56:28.9	18.93	0.02	17.75	0.02	17.21	0.04
12:30: 1.41	-62:57:11.3	17.72	0.01	16.72	0.01	16.27	0.02
12:30: 1.41	-62:57:41.8	18.54	0.02	17.21	0.02	16.91	0.03
12:30: 1.42	-62:57:34.0	18.68	0.02	17.79	0.02	17.38	0.05
12:30: 1.46	-62:56:58.4	18.12	0.01	16.37	0.01	15.57	0.01
12:30: 1.50	-62:56:40.2	21.96	0.40	19.71	0.16	18.15	0.12
12:30: 1.51	-62:55:51.7	17.84	0.01	17.24	0.02	17.03	0.04
12:30: 1.57	-62:57: 9.6	20.56	0.12	18.27	0.05	17.03	0.04
12:30: 1.58	-62:57: 4.8	18.80	0.02	17.84	0.02	17.52	0.05
12:30: 1.58	-62:56:24.6	19.11	0.02	17.99	0.03	17.93	0.08
12:30: 1.60	-62:56:28.8	18.70	0.02	17.53	0.02	16.69	0.03
12:30: 1.63	-62:56:53.3	18.10	0.01	17.21	0.02	16.69	0.04
12:30: 1.64	-62:57:47.7	17.51	0.01	16.62	0.01	16.19	0.02
12:30: 1.66	-62:56: 7.5	17.35	0.01	16.55	0.01	16.31	0.02
12:30: 1.67	-62:55:52.4	18.34	0.02	17.44	0.02	17.25	0.05

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 1.70	-62:57:24.4	17.93	0.01	16.99	0.02	16.43	0.02
12:30: 1.71	-62:56:28.3	18.70	0.02	17.57	0.02	16.98	0.04
12:30: 1.73	-62:56: 1.8	17.44	0.01	16.78	0.02	16.59	0.02
12:30: 1.75	-62:57:46.3	18.09	0.01	16.89	0.01	16.96	0.04
12:30: 1.78	-62:56:42.2	19.52	0.04	18.75	0.08	17.42	0.08
12:30: 1.80	-62:56:33.9	18.47	0.01	17.60	0.02	17.10	0.04
12:30: 1.82	-62:56:20.1	19.04	0.02	18.00	0.03	17.77	0.06
12:30: 1.82	-62:56:20.1	19.04	0.02	18.00	0.03	17.77	0.06
12:30: 1.84	-62:55:57.7	19.04	0.03	18.24	0.04	17.37	0.04
12:30: 1.84	-62:56:59.3	18.84	0.02	17.97	0.02	18.12	0.11
12:30: 1.85	-62:57:24.7	17.65	0.01	16.60	0.01	16.19	0.02
12:30: 1.88	-62:56: 2.6	16.76	0.00	16.01	0.01	15.90	0.01
12:30: 1.88	-62:56:32.7	17.97	0.01	17.01	0.01	16.64	0.03
12:30: 1.89	-62:57:23.8	17.62	0.01	16.60	0.01	16.20	0.02
12:30: 1.90	-62:57:27.0	19.10	0.03	17.94	0.03	17.16	0.03
12:30: 1.90	-62:56:28.1	18.55	0.01	17.56	0.02	17.30	0.05
12:30: 1.91	-62:57:43.8	19.50	0.04	18.38	0.05	17.58	0.05
12:30: 1.92	-62:57:20.1	21.47	0.16	19.16	0.06	17.80	0.07
12:30: 1.96	-62:57:22.9	18.07	0.01	17.08	0.01	16.75	0.03
12:30: 2.00	-62:56:43.8	19.55	0.04	18.38	0.07	17.82	0.12
12:30: 2.01	-62:56:14.1	17.24	0.01	16.32	0.01	15.98	0.01
12:30: 2.07	-62:56:42.3	19.18	0.05	18.12	0.06	17.86	0.16
12:30: 2.07	-62:56: 5.3	18.61	0.02	17.58	0.02	17.25	0.04
12:30: 2.08	-62:56: 1.1	18.42	0.01	17.26	0.01	17.16	0.03
12:30: 2.08	-62:56:16.5	18.41	0.01	17.45	0.02	17.24	0.04
12:30: 2.09	-62:56:23.4	19.55	0.04	18.65	0.05	18.75	0.15
12:30: 2.09	-62:56:23.4	19.55	0.04	18.65	0.05	18.75	0.15
12:30: 2.10	-62:56:49.6	18.00	0.01	17.32	0.02	16.93	0.05
12:30: 2.12	-62:57:22.1	18.36	0.01	17.25	0.01	16.80	0.03
12:30: 2.22	-62:56:49.3	17.95	0.01	17.13	0.02	17.05	0.05
12:30: 2.24	-62:56:20.2	18.15	0.01	17.16	0.01	16.85	0.03
12:30: 2.25	-62:56:39.6	17.52	0.01	16.41	0.01	15.76	0.02
12:30: 2.28	-62:55:53.3	18.15	0.02	17.46	0.02	17.32	0.05
12:30: 2.29	-62:57:37.1	18.77	0.02	17.60	0.02	16.98	0.03
12:30: 2.29	-62:56:42.0	18.22	0.02	18.02	0.09	16.66	0.07
12:30: 2.30	-62:57:48.9	18.48	0.01	17.57	0.02	17.30	0.05
12:30: 2.30	-62:57: 8.5	18.72	0.03	18.09	0.05	17.54	0.10
12:30: 2.31	-62:55:56.1	17.25	0.01	16.50	0.01	16.37	0.02
12:30: 2.32	-62:56:47.0	20.35	0.11	19.92	0.24	18.42	0.21
12:30: 2.34	-62:57:39.2	19.19	0.03	18.34	0.04	17.94	0.08
12:30: 2.35	-62:57: 5.9	18.02	0.01	17.11	0.02	16.74	0.04
12:30: 2.35	-62:57: 1.5	18.22	0.01	17.24	0.01	16.82	0.03
12:30: 2.37	-62:56:24.8	19.56	0.04	17.84	0.03	17.08	0.03
12:30: 2.40	-62:56:44.4	14.56	0.00	13.34	0.00	12.95	0.00
12:30: 2.41	-62:56:35.7	19.46	0.03	18.15	0.03	17.41	0.06
12:30: 2.42	-62:55:54.3	17.97	0.01	17.21	0.01	17.16	0.05
12:30: 2.43	-62:56:41.0	18.22	0.02	16.53	0.02	15.63	0.02
12:30: 2.45	-62:56:14.8	20.09	0.06	18.81	0.07	18.56	0.14
12:30: 2.51	-62:57: 7.1	18.37	0.02	17.31	0.03	16.95	0.05
12:30: 2.51	-62:56:50.7	20.12	0.09	18.41	0.08	16.86	0.05
12:30: 2.51	-62:56: 7.4	21.28	0.17	18.71	0.05	17.34	0.04
12:30: 2.55	-62:55:52.6	15.60	0.00	15.02	0.00	15.04	0.01
12:30: 2.60	-62:57:34.0	17.64	0.01	16.77	0.01	16.42	0.02
12:30: 2.61	-62:57:46.8	20.52	0.09	19.24	0.11	15.92	0.02

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 2.62	-62:56:19.6	18.80	0.02	17.77	0.02	17.43	0.05
12:30: 2.64	-62:56:49.5	19.06	0.02	17.91	0.03	17.18	0.05
12:30: 2.65	-62:56:55.8	16.64	0.01	16.32	0.01	15.73	0.02
12:30: 2.65	-62:56:41.6	17.74	0.01	16.54	0.01	16.33	0.03
12:30: 2.66	-62:57:44.8	19.20	0.02	18.30	0.03	17.59	0.06
12:30: 2.72	-62:55:57.0	18.42	0.02	17.47	0.02	17.13	0.04
12:30: 2.72	-62:57:17.5	15.82	0.00	14.20	0.00	13.32	0.00
12:30: 2.73	-62:57:14.8	19.07	0.02	17.79	0.02	17.36	0.06
12:30: 2.73	-62:56:10.6	18.27	0.01	17.33	0.02	17.09	0.04
12:30: 2.74	-62:57:35.9	17.94	0.01	16.96	0.02	16.54	0.03
12:30: 2.76	-62:57:27.4	18.72	0.02	17.77	0.02	17.45	0.05
12:30: 2.78	-62:56:23.6	16.95	0.01	16.25	0.01	15.94	0.02
12:30: 2.78	-62:57: 9.8	19.51	0.04	18.60	0.05	18.23	0.15
12:30: 2.78	-62:56:38.2	18.46	0.02	17.50	0.03	16.99	0.05
12:30: 2.81	-62:57:19.8	20.00	0.05	18.31	0.04	16.93	0.03
12:30: 2.82	-62:56: 5.6	18.49	0.01	17.57	0.02	17.33	0.04
12:30: 2.83	-62:56:54.9	16.64	0.01	15.27	0.00	14.22	0.00
12:30: 2.85	-62:56: 0.0	19.23	0.03	18.14	0.03	17.82	0.06
12:30: 2.92	-62:56:53.0	19.64	0.08	17.14	0.03	16.40	0.06
12:30: 2.93	-62:57: 5.4	17.06	0.01	15.98	0.01	15.56	0.02
12:30: 2.95	-62:56:14.8	16.48	0.00	15.85	0.00	15.79	0.01
12:30: 2.95	-62:56:10.0	18.68	0.02	17.41	0.02	16.97	0.03
12:30: 2.97	-62:57:12.2	20.08	0.05	18.65	0.04	16.48	0.02
12:30: 2.97	-62:57:20.6	20.43	0.08	18.49	0.05	17.31	0.05
12:30: 3.01	-62:56:28.8	18.13	0.01	17.15	0.02	16.94	0.03
12:30: 3.02	-62:57:34.1	18.42	0.02	17.66	0.03	17.32	0.05
12:30: 3.04	-62:56:11.2	19.51	0.04	17.65	0.02	16.72	0.02
12:30: 3.06	-62:56:31.8	21.16	0.35	18.52	0.09	16.47	0.04
12:30: 3.06	-62:56:25.7	18.89	0.04	17.76	0.04	17.40	0.06
12:30: 3.06	-62:56:42.2	19.25	0.04	17.28	0.02	16.00	0.02
12:30: 3.07	-62:56:23.0	15.82	0.00	14.56	0.00	14.05	0.00
12:30: 3.10	-62:56:55.1	19.19	0.06	16.49	0.02	15.45	0.02
12:30: 3.11	-62:57:10.2	20.17	0.08	19.49	0.14	17.65	0.10
12:30: 3.12	-62:57:37.3	19.54	0.04	18.29	0.04	17.14	0.03
12:30: 3.13	-62:57: 8.2	17.02	0.00	15.95	0.01	15.52	0.02
12:30: 3.13	-62:57:26.5	19.02	0.02	17.94	0.03	17.23	0.04
12:30: 3.13	-62:56:39.9	19.42	0.06	18.88	0.12	18.41	0.26
12:30: 3.13	-62:56:39.9	19.42	0.06	18.88	0.12	18.41	0.26
12:30: 3.14	-62:56:46.9	18.89	0.03	17.50	0.02	16.25	0.04
12:30: 3.14	-62:57: 4.8	17.89	0.01	16.47	0.01	16.52	0.04
12:30: 3.14	-62:56:43.5	19.20	0.03	17.79	0.04	15.72	0.02
12:30: 3.18	-62:57:24.5	18.62	0.01	17.45	0.02	17.26	0.04
12:30: 3.19	-62:56:14.9	17.67	0.01	16.67	0.01	17.17	0.04
12:30: 3.21	-62:57:25.0	18.59	0.01	17.45	0.02	16.86	0.03
12:30: 3.24	-62:56:24.9	19.12	0.05	17.60	0.03	17.16	0.05
12:30: 3.25	-62:56:30.9	19.15	0.04	17.92	0.04	16.86	0.06
12:30: 3.26	-62:56:50.4	20.27	0.08	18.35	0.07	16.12	0.04
12:30: 3.30	-62:57: 6.1	19.70	0.09	17.73	0.04	16.57	0.04
12:30: 3.30	-62:56:21.9	17.93	0.02	16.22	0.01	16.78	0.03
12:30: 3.31	-62:56:44.0	20.76	0.17	17.52	0.04	15.67	0.02
12:30: 3.32	-62:56:19.8	16.33	0.00	15.67	0.01	15.57	0.01
12:30: 3.32	-62:57: 0.5	15.54	0.00	14.38	0.00	13.97	0.00
12:30: 3.32	-62:56:35.0	14.70	0.00	13.49	0.00	13.14	0.00
12:30: 3.33	-62:57: 8.0	17.36	0.01	16.01	0.01	15.84	0.02

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 3.35	-62:57:33.0	18.29	0.01	17.46	0.02	17.03	0.03
12:30: 3.37	-62:56:31.8	19.04	0.03	17.75	0.04	17.15	0.11
12:30: 3.42	-62:57:12.9	16.41	0.00	15.50	0.00	15.15	0.01
12:30: 3.43	-62:56:54.9	17.96	0.02	16.62	0.03	15.64	0.03
12:30: 3.47	-62:57:29.2	19.59	0.04	18.57	0.05	18.87	0.19
12:30: 3.48	-62:56:16.3	17.07	0.01	16.08	0.01	15.70	0.01
12:30: 3.49	-62:56:55.9	17.96	0.02	16.60	0.03	16.48	0.05
12:30: 3.50	-62:56:51.9	21.82	0.38	18.44	0.12	16.17	0.06
12:30: 3.50	-62:56: 3.8	18.31	0.01	17.16	0.02	16.73	0.02
12:30: 3.55	-62:57:22.4	21.10	0.11	20.32	0.23	18.96	0.18
12:30: 3.55	-62:57:45.1	20.87	0.14	18.76	0.06	18.18	0.10
12:30: 3.56	-62:57:11.5	18.19	0.01	16.58	0.01	16.95	0.05
12:30: 3.58	-62:56:53.3	19.33	0.04	18.45	0.12	16.61	0.08
12:30: 3.58	-62:55:53.3	15.50	0.00	14.31	0.00	13.91	0.00
12:30: 3.67	-62:57:17.9	17.86	0.01	17.00	0.01	16.38	0.02
12:30: 3.71	-62:56: 9.1	17.65	0.01	16.66	0.01	16.18	0.02
12:30: 3.72	-62:57:29.9	17.59	0.01	16.67	0.01	16.32	0.02
12:30: 3.72	-62:56:59.6	18.30	0.01	18.84	0.09	17.49	0.09
12:30: 3.74	-62:56:54.7	19.55	0.07	17.74	0.09	17.06	0.16
12:30: 3.77	-62:57:17.3	17.88	0.01	16.86	0.01	16.42	0.02
12:30: 3.77	-62:56:15.0	15.68	0.00	14.82	0.00	14.62	0.00
12:30: 3.79	-62:56:16.7	17.48	0.01	16.01	0.01	17.09	0.05
12:30: 3.81	-62:56:24.9	19.09	0.04	18.14	0.04	17.90	0.08
12:30: 3.89	-62:57:44.5	18.28	0.02	17.56	0.04	17.17	0.05
12:30: 3.89	-62:56:58.1	20.07	0.06	18.01	0.04	16.60	0.03
12:30: 3.90	-62:57:31.2	18.98	0.02	17.98	0.04	17.84	0.07
12:30: 3.92	-62:57:38.3	18.47	0.01	17.56	0.02	17.30	0.04
12:30: 3.92	-62:57:42.7	17.60	0.01	16.76	0.01	16.51	0.02
12:30: 3.93	-62:56: 7.2	15.97	0.00	15.29	0.00	15.11	0.01
12:30: 3.96	-62:56:46.4	18.49	0.03	17.27	0.03	17.44	0.13
12:30: 3.96	-62:55:51.5	19.57	0.05	18.48	0.05	18.29	0.11
12:30: 3.97	-62:56: 9.1	17.35	0.01	16.42	0.01	16.36	0.02
12:30: 3.99	-62:57:19.3	18.61	0.02	17.97	0.04	17.76	0.09
12:30: 4.01	-62:55:56.3	17.86	0.01	17.15	0.01	16.85	0.03
12:30: 4.01	-62:57: 2.6	19.32	0.04	17.90	0.04	16.72	0.03
12:30: 4.02	-62:56:54.7	15.83	0.00	14.48	0.00	13.84	0.00
12:30: 4.03	-62:56:57.0	19.78	0.05	18.37	0.05	17.31	0.06
12:30: 4.05	-62:57: 6.8	21.39	0.30	18.55	0.08	16.81	0.04
12:30: 4.06	-62:56:29.2	16.10	0.00	15.24	0.00	14.96	0.01
12:30: 4.09	-62:56:25.7	18.70	0.03	17.66	0.04	17.36	0.05
12:30: 4.11	-62:57:45.9	18.39	0.02	17.58	0.02	17.64	0.06
12:30: 4.12	-62:55:58.1	18.48	0.03	17.71	0.04	17.66	0.08
12:30: 4.13	-62:57: 8.7	19.37	0.03	17.76	0.03	16.68	0.03
12:30: 4.14	-62:57:28.7	17.75	0.01	16.84	0.01	16.33	0.02
12:30: 4.15	-62:56:49.8	17.92	0.01	16.79	0.03	15.94	0.05
12:30: 4.15	-62:56:32.9	20.18	0.14	18.36	0.09	17.24	0.11
12:30: 4.20	-62:57:21.6	18.64	0.02	17.55	0.02	17.23	0.04
12:30: 4.20	-62:56:52.2	15.83	0.00	16.93	0.04	15.94	0.04
12:30: 4.20	-62:55:56.6	17.49	0.01	16.61	0.01	16.45	0.02
12:30: 4.21	-62:56:24.7	18.15	0.02	17.49	0.02	17.22	0.05
12:30: 4.22	-62:57: 2.4	18.80	0.02	17.75	0.03	16.80	0.03
12:30: 4.27	-62:57:34.2	19.55	0.03	18.68	0.05	18.22	0.10
12:30: 4.29	-62:57:15.6	18.34	0.01	17.28	0.02	16.86	0.03
12:30: 4.29	-62:57:46.6	18.45	0.02	17.60	0.02	17.53	0.05

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 4.31	-62:57: 9.7	18.64	0.02	17.20	0.01	16.73	0.03
12:30: 4.33	-62:56: 1.9	18.17	0.01	17.29	0.01	16.92	0.03
12:30: 4.34	-62:57:25.0	19.44	0.04	20.33	0.23	18.94	0.20
12:30: 4.34	-62:57:25.0	19.44	0.04	20.33	0.23	18.94	0.20
12:30: 4.34	-62:56:16.2	17.66	0.01	16.18	0.01	15.28	0.01
12:30: 4.39	-62:56:27.2	17.49	0.01	16.81	0.02	16.67	0.04
12:30: 4.39	-62:57: 6.9	18.84	0.03	17.76	0.04	17.34	0.06
12:30: 4.40	-62:56:18.2	18.92	0.03	17.88	0.03	17.64	0.06
12:30: 4.41	-62:55:59.2	18.68	0.02	17.91	0.03	17.61	0.06
12:30: 4.41	-62:56:28.8	18.71	0.02	17.94	0.03	17.95	0.10
12:30: 4.41	-62:56:28.8	18.71	0.02	17.94	0.03	17.95	0.10
12:30: 4.44	-62:56:24.3	16.76	0.00	15.91	0.01	15.68	0.01
12:30: 4.45	-62:56: 3.2	17.96	0.01	17.01	0.01	16.81	0.02
12:30: 4.51	-62:56: 6.7	18.55	0.01	16.90	0.01	16.20	0.01
12:30: 4.56	-62:55:52.4	18.02	0.01	17.14	0.01	16.82	0.03
12:30: 4.60	-62:56:46.9	19.37	0.03	17.50	0.03	16.43	0.05
12:30: 4.62	-62:56:49.0	16.82	0.01	15.44	0.01	14.59	0.01
12:30: 4.62	-62:57:13.0	17.34	0.01	16.44	0.01	16.11	0.01
12:30: 4.62	-62:57:16.9	18.81	0.02	17.49	0.02	16.70	0.02
12:30: 4.63	-62:57:42.6	16.55	0.00	15.70	0.01	15.40	0.01
12:30: 4.63	-62:56:28.2	20.31	0.10	18.49	0.05	19.18	0.25
12:30: 4.64	-62:56:30.8	22.32	0.54	20.40	0.29	18.32	0.17
12:30: 4.64	-62:55:53.7	18.02	0.01	17.01	0.01	16.80	0.03
12:30: 4.66	-62:57:11.0	19.06	0.03	17.75	0.02	16.88	0.03
12:30: 4.67	-62:57:17.0	18.82	0.02	17.41	0.01	16.62	0.02
12:30: 4.67	-62:57:23.5	14.11	0.00	12.98	0.00	12.61	0.00
12:30: 4.72	-62:56:34.8	18.79	0.02	17.85	0.03	16.78	0.06
12:30: 4.72	-62:57:45.5	16.76	0.00	15.67	0.00	15.12	0.01
12:30: 4.72	-62:57:17.7	18.84	0.02	17.40	0.01	16.76	0.02
12:30: 4.73	-62:56:42.1	18.78	0.04	18.00	0.08	16.69	0.10
12:30: 4.76	-62:57:39.9	16.00	0.00	15.20	0.00	14.89	0.00
12:30: 4.78	-62:57: 8.7	17.08	0.00	16.16	0.01	15.91	0.01
12:30: 4.79	-62:57:36.8	17.95	0.01	17.10	0.01	16.68	0.02
12:30: 4.80	-62:57: 3.3	19.62	0.04	18.57	0.05	17.71	0.08
12:30: 4.80	-62:56:46.2	18.72	0.02	16.28	0.01	15.12	0.01
12:30: 4.80	-62:56:51.3	18.64	0.03	17.72	0.05	17.45	0.10
12:30: 4.83	-62:57: 5.0	18.96	0.03	18.10	0.04	17.78	0.08
12:30: 4.84	-62:57:10.5	18.33	0.01	17.23	0.01	16.77	0.03
12:30: 4.84	-62:56:39.9	16.76	0.01	16.00	0.01	15.61	0.03
12:30: 4.87	-62:56:50.5	18.63	0.03	17.51	0.04	16.55	0.04
12:30: 4.87	-62:57:26.2	18.24	0.01	17.43	0.02	16.91	0.04
12:30: 4.87	-62:56:35.5	18.62	0.02	17.51	0.02	16.98	0.07
12:30: 4.88	-62:55:51.4	18.10	0.02	17.04	0.02	16.82	0.03
12:30: 4.89	-62:57:35.5	18.38	0.01	17.15	0.01	17.20	0.04
12:30: 4.91	-62:56:55.4	17.14	0.01	16.17	0.01	15.87	0.02
12:30: 4.91	-62:56:11.1	14.19	0.00	13.87	0.00	13.93	0.00
12:30: 4.93	-62:57:38.4	16.00	0.00	15.21	0.00	17.30	0.05
12:30: 4.95	-62:55:59.3	22.41	0.41	19.43	0.08	17.89	0.06
12:30: 4.96	-62:56:52.8	21.92	1.02	19.81	0.44	16.74	0.05
12:30: 4.98	-62:56:50.0	18.63	0.03	17.51	0.04	16.82	0.07
12:30: 5.03	-62:56:56.8	16.55	0.00	15.57	0.01	15.14	0.01
12:30: 5.05	-62:56:20.2	18.83	0.02	17.66	0.02	16.57	0.02
12:30: 5.06	-62:57:43.8	19.76	0.08	18.92	0.09	18.63	0.18
12:30: 5.06	-62:56: 8.4	17.51	0.01	16.71	0.01	16.44	0.02

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ (° ' '')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 5.07	-62:56:26.8	18.59	0.02	16.98	0.01	16.02	0.01
12:30: 5.07	-62:56:53.9	19.16	0.06	18.19	0.09	16.47	0.04
12:30: 5.07	-62:56:48.2	16.85	0.00	17.03	0.04	15.73	0.03
12:30: 5.08	-62:57:41.9	18.39	0.02	17.53	0.03	17.35	0.06
12:30: 5.09	-62:57:10.5	20.95	0.17	18.50	0.05	17.66	0.07
12:30: 5.10	-62:56:51.3	18.39	0.02	17.57	0.05	16.77	0.06
12:30: 5.12	-62:55:55.8	16.92	0.00	16.10	0.01	15.86	0.01
12:30: 5.14	-62:56:30.2	17.64	0.01	16.60	0.01	16.26	0.02
12:30: 5.14	-62:55:52.6	20.44	0.12	19.07	0.09	18.78	0.18
12:30: 5.17	-62:56:21.0	18.70	0.02	17.53	0.02	16.74	0.02
12:30: 5.19	-62:56:47.1	16.85	0.00	15.20	0.00	14.12	0.00
12:30: 5.20	-62:57: 4.5	19.62	0.06	18.32	0.07	17.51	0.07
12:30: 5.21	-62:57:25.0	20.55	0.17	17.65	0.05	15.94	0.02
12:30: 5.22	-62:57:15.0	17.20	0.01	16.38	0.01	16.00	0.01
12:30: 5.23	-62:56:37.5	17.61	0.01	16.94	0.02	16.81	0.06
12:30: 5.23	-62:57:17.2	17.17	0.00	16.40	0.01	16.19	0.01
12:30: 5.26	-62:56:26.9	18.61	0.03	16.94	0.02	16.22	0.02
12:30: 5.27	-62:57:23.1	19.57	0.03	17.71	0.03	16.89	0.03
12:30: 5.28	-62:57: 7.3	18.12	0.01	17.10	0.02	16.65	0.02
12:30: 5.28	-62:56:18.6	18.50	0.02	17.61	0.03	17.42	0.05
12:30: 5.28	-62:56:50.5	18.09	0.01	16.37	0.01	15.26	0.01
12:30: 5.30	-62:56:43.7	19.17	0.03	17.43	0.02	16.49	0.03
12:30: 5.30	-62:56:34.5	18.71	0.02	16.74	0.01	15.36	0.01
12:30: 5.32	-62:57:17.1	17.17	0.00	16.40	0.01	16.21	0.01
12:30: 5.33	-62:57:10.7	20.18	0.08	18.13	0.04	17.08	0.04
12:30: 5.36	-62:56:41.5	17.40	0.01	16.04	0.01	15.40	0.01
12:30: 5.37	-62:56:32.8	20.56	0.14	18.11	0.04	17.27	0.06
12:30: 5.37	-62:56:53.5	16.81	0.01	16.06	0.01	15.86	0.02
12:30: 5.38	-62:57:33.8	17.90	0.01	17.23	0.02	16.93	0.03
12:30: 5.38	-62:55:59.7	17.88	0.01	17.15	0.01	17.00	0.03
12:30: 5.41	-62:56:45.6	17.24	0.01	16.23	0.01	15.90	0.02
12:30: 5.44	-62:56:30.2	18.43	0.02	17.30	0.02	17.07	0.05
12:30: 5.45	-62:57:26.4	19.35	0.04	18.76	0.07	17.66	0.06
12:30: 5.46	-62:55:57.9	17.18	0.01	16.45	0.01	16.22	0.01
12:30: 5.46	-62:57:40.3	17.80	0.01	16.95	0.01	16.49	0.02
12:30: 5.48	-62:56:23.3	18.34	0.01	17.48	0.02	17.19	0.04
12:30: 5.48	-62:57:49.4	15.02	0.00	14.40	0.00	14.24	0.00
12:30: 5.50	-62:56:56.5	22.09	0.47	18.87	0.08	17.54	0.07
12:30: 5.55	-62:57: 9.5	18.95	0.03	17.94	0.03	17.78	0.07
12:30: 5.56	-62:56:26.6	18.49	0.03	17.50	0.03	17.23	0.06
12:30: 5.57	-62:57: 7.5	20.81	0.17	18.57	0.07	17.90	0.09
12:30: 5.58	-62:56:48.3	19.67	0.08	18.16	0.06	19.36	0.57
12:30: 5.59	-62:56:32.1	19.31	0.04	18.29	0.05	18.06	0.12
12:30: 5.64	-62:57:20.3	18.13	0.01	17.09	0.01	16.66	0.02
12:30: 5.69	-62:57:39.6	18.87	0.02	17.57	0.02	17.52	0.05
12:30: 5.69	-62:56: 9.5	19.26	0.03	18.11	0.03	17.61	0.05
12:30: 5.72	-62:56:52.6	16.81	0.01	15.43	0.01	14.78	0.01
12:30: 5.74	-62:57:48.3	17.08	0.01	16.00	0.01	16.18	0.02
12:30: 5.74	-62:57: 0.6	19.27	0.03	17.36	0.02	16.29	0.02
12:30: 5.80	-62:56:36.6	17.23	0.01	16.21	0.01	15.56	0.01
12:30: 5.81	-62:56:50.1	17.26	0.01	15.93	0.02	15.14	0.02
12:30: 5.83	-62:57:17.1	17.98	0.01	16.97	0.01	16.46	0.02
12:30: 5.86	-62:56:26.5	18.44	0.02	17.43	0.02	17.11	0.05
12:30: 5.87	-62:57:24.2	19.10	0.03	18.25	0.04	17.93	0.07

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 5.87	-62:57:24.2	19.10	0.03	18.25	0.04	17.93	0.07
12:30: 5.88	-62:56:46.2	18.94	0.03	17.52	0.04	16.92	0.05
12:30: 5.88	-62:55:53.3	15.61	0.00	15.09	0.00	15.08	0.01
12:30: 5.89	-62:56:42.9	20.55	0.10	18.83	0.08	18.52	0.16
12:30: 5.90	-62:56:33.1	19.31	0.03	18.73	0.06	18.49	0.15
12:30: 5.92	-62:56:17.9	20.66	0.12	19.75	0.18	17.20	0.04
12:30: 5.92	-62:56: 3.3	17.92	0.01	17.18	0.01	17.07	0.03
12:30: 5.94	-62:56:12.3	18.15	0.01	17.23	0.01	16.95	0.03
12:30: 5.96	-62:56:38.5	18.19	0.02	16.24	0.01	14.94	0.01
12:30: 5.96	-62:56:38.5	18.19	0.02	16.24	0.01	14.94	0.01
12:30: 5.98	-62:56: 7.9	18.12	0.01	17.30	0.01	17.23	0.04
12:30: 6.02	-62:56: 5.5	15.94	0.00	15.22	0.00	15.10	0.01
12:30: 6.03	-62:56:47.3	18.86	0.04	17.17	0.04	16.61	0.07
12:30: 6.04	-62:56:56.1	19.94	0.08	18.15	0.05	17.43	0.07
12:30: 6.06	-62:57: 7.2	18.64	0.02	17.85	0.03	17.22	0.05
12:30: 6.08	-62:56:40.7	19.66	0.06	18.01	0.04	16.76	0.05
12:30: 6.09	-62:57:26.7	18.93	0.02	18.12	0.03	17.94	0.07
12:30: 6.09	-62:57:26.7	18.93	0.02	18.12	0.03	17.94	0.07
12:30: 6.15	-62:56:49.4	15.60	0.01	14.40	0.01	13.85	0.01
12:30: 6.18	-62:56:53.8	19.09	0.04	17.68	0.05	16.29	0.03
12:30: 6.20	-62:57:21.0	18.41	0.01	17.69	0.02	17.33	0.04
12:30: 6.22	-62:56:36.8	17.66	0.02	16.72	0.03	15.66	0.03
12:30: 6.23	-62:56:21.5	20.24	0.06	18.30	0.04	17.52	0.05
12:30: 6.23	-62:57: 4.6	18.58	0.02	16.42	0.01	15.54	0.01
12:30: 6.23	-62:57: 3.7	18.32	0.01	16.43	0.01	15.26	0.01
12:30: 6.27	-62:56:45.1	17.82	0.01	17.87	0.09	16.67	0.06
12:30: 6.29	-62:56:17.4	20.94	0.10	18.89	0.06	17.83	0.05
12:30: 6.31	-62:57:33.5	18.11	0.01	17.20	0.02	16.94	0.03
12:30: 6.34	-62:57: 1.2	17.09	0.01	16.18	0.01	15.58	0.01
12:30: 6.35	-62:56:35.8	17.58	0.01	16.25	0.01	15.51	0.02
12:30: 6.36	-62:57:18.9	18.00	0.01	17.06	0.01	16.78	0.03
12:30: 6.38	-62:55:51.1	23.02	0.78	19.67	0.12	18.20	0.09
12:30: 6.39	-62:56: 5.4	17.29	0.01	16.48	0.01	16.32	0.02
12:30: 6.41	-62:56:53.8	18.32	0.02	17.05	0.03	16.21	0.03
12:30: 6.41	-62:56: 3.0	17.92	0.01	17.01	0.01	16.88	0.03
12:30: 6.42	-62:56:38.2	18.55	0.03	17.78	0.05	16.93	0.08
12:30: 6.43	-62:56:24.3	18.71	0.02	17.92	0.03	17.53	0.06
12:30: 6.43	-62:56:43.8	16.02	0.00	15.38	0.01	15.32	0.02
12:30: 6.45	-62:57:11.4	16.11	0.00	15.28	0.00	14.90	0.00
12:30: 6.46	-62:55:52.9	18.26	0.01	17.32	0.02	17.09	0.03
12:30: 6.47	-62:57: 0.7	17.02	0.01	15.98	0.01	15.59	0.01
12:30: 6.48	-62:56:45.6	16.80	0.01	15.57	0.01	15.19	0.02
12:30: 6.49	-62:56:33.1	19.63	0.05	17.76	0.03	16.42	0.03
12:30: 6.50	-62:57:14.9	18.25	0.01	17.40	0.01	16.90	0.03
12:30: 6.50	-62:56:46.7	16.80	0.01	15.57	0.01	14.95	0.01
12:30: 6.50	-62:56:41.3	17.23	0.01	16.20	0.01	15.37	0.02
12:30: 6.51	-62:56:55.9	17.19	0.01	16.02	0.01	15.54	0.01
12:30: 6.53	-62:57: 2.7	17.60	0.01	16.28	0.01	15.56	0.01
12:30: 6.55	-62:56:12.7	18.81	0.01	17.75	0.02	17.35	0.04
12:30: 6.59	-62:57: 3.7	17.72	0.01	16.25	0.01	15.78	0.01
12:30: 6.59	-62:56:30.6	19.19	0.03	17.45	0.02	16.30	0.02
12:30: 6.60	-62:57:19.1	18.34	0.01	17.32	0.02	17.32	0.04
12:30: 6.62	-62:56:45.4	17.06	0.02	15.93	0.02	15.72	0.03
12:30: 6.62	-62:56:43.1	16.98	0.02	15.38	0.01	15.32	0.02

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 6.63	-62:56:48.0	18.60	0.09	16.70	0.07	16.53	0.09
12:30: 6.63	-62:56:40.7	17.23	0.01	15.88	0.01	15.18	0.01
12:30: 6.63	-62:56:41.7	17.23	0.01	15.87	0.01	15.09	0.01
12:30: 6.64	-62:56: 6.8	15.86	0.00	17.74	0.03	17.70	0.07
12:30: 6.65	-62:56:49.8	16.71	0.01	15.50	0.01	15.38	0.03
12:30: 6.68	-62:56:50.9	16.18	0.00	15.28	0.01	14.97	0.01
12:30: 6.71	-62:56:56.6	18.96	0.03	17.35	0.02	16.69	0.03
12:30: 6.72	-62:57:34.9	18.93	0.02	17.89	0.03	17.40	0.04
12:30: 6.72	-62:56: 5.1	15.86	0.00	15.19	0.00	15.12	0.01
12:30: 6.73	-62:57:20.5	18.92	0.03	18.07	0.03	18.03	0.08
12:30: 6.73	-62:56:33.2	20.11	0.07	17.94	0.04	16.32	0.02
12:30: 6.75	-62:56:48.0	18.57	0.09	17.41	0.13	16.78	0.08
12:30: 6.78	-62:56:43.3	16.98	0.02	16.04	0.03	15.90	0.04
12:30: 6.79	-62:56:49.5	16.16	0.00	15.28	0.01	16.21	0.04
12:30: 6.80	-62:56:10.0	18.61	0.02	17.62	0.02	17.40	0.04
12:30: 6.82	-62:57:11.7	19.09	0.02	18.13	0.03	18.00	0.08
12:30: 6.85	-62:57: 1.0	18.46	0.02	17.44	0.04	16.85	0.04
12:30: 6.84	-62:56:11.5	18.99	0.03	17.88	0.03	17.74	0.06
12:30: 6.85	-62:56:41.1	17.41	0.01	15.62	0.01	14.43	0.01
12:30: 6.85	-62:56:17.0	18.20	0.01	17.11	0.01	16.76	0.02
12:30: 6.86	-62:56:27.2	17.29	0.00	16.53	0.01	16.31	0.02
12:30: 6.90	-62:56:17.8	18.20	0.01	17.10	0.01	16.84	0.03
12:30: 6.90	-62:55:51.1	19.82	0.05	18.57	0.06	16.85	0.03
12:30: 6.90	-62:56: 4.9	15.86	0.00	15.19	0.00	15.71	0.01
12:30: 6.91	-62:55:55.2	18.84	0.03	17.95	0.04	17.83	0.08
12:30: 6.91	-62:55:59.8	17.54	0.01	16.64	0.01	16.35	0.02
12:30: 6.91	-62:57:17.7	18.71	0.03	17.87	0.05	17.34	0.05
12:30: 6.92	-62:56:39.0	17.41	0.01	18.12	0.05	16.84	0.04
12:30: 6.94	-62:57: 0.1	18.68	0.03	17.34	0.03	16.62	0.03
12:30: 6.94	-62:57:25.0	17.99	0.01	17.15	0.01	16.73	0.02
12:30: 6.94	-62:55:58.7	17.13	0.00	16.27	0.01	15.98	0.01
12:30: 6.98	-62:56: 2.3	19.50	0.03	18.79	0.06	18.57	0.13
12:30: 7.00	-62:57:27.1	19.17	0.03	18.38	0.05	18.06	0.08
12:30: 7.00	-62:55:53.9	17.73	0.01	16.94	0.02	16.79	0.04
12:30: 7.00	-62:56:30.3	17.76	0.01	17.72	0.03	17.52	0.06
12:30: 7.07	-62:56:42.6	19.64	0.04	17.81	0.03	16.50	0.03
12:30: 7.09	-62:56:48.4	17.90	0.01	16.61	0.01	15.95	0.01
12:30: 7.11	-62:57:17.1	18.35	0.01	17.26	0.02	16.90	0.03
12:30: 7.11	-62:56:33.4	22.90	0.74	19.69	0.14	18.30	0.10
12:30: 7.13	-62:56:19.9	18.82	0.02	17.84	0.02	17.58	0.05
12:30: 7.15	-62:57:38.8	19.32	0.03	18.75	0.06	18.33	0.10
12:30: 7.18	-62:56:28.9	16.10	0.00	15.36	0.00	15.13	0.01
12:30: 7.18	-62:55:53.5	17.15	0.01	16.32	0.01	16.24	0.02
12:30: 7.19	-62:57:30.2	17.87	0.01	17.09	0.02	16.94	0.03
12:30: 7.21	-62:57: 4.6	17.28	0.01	16.04	0.01	15.55	0.01
12:30: 7.22	-62:57:19.5	16.93	0.00	15.77	0.00	15.14	0.01
12:30: 7.24	-62:57:36.8	18.46	0.01	17.49	0.02	16.71	0.02
12:30: 7.26	-62:57: 6.3	17.97	0.01	17.84	0.02	17.14	0.04
12:30: 7.26	-62:57:18.3	16.93	0.00	15.76	0.00	15.85	0.02
12:30: 7.27	-62:57: 9.3	18.33	0.01	17.11	0.01	17.51	0.06
12:30: 7.27	-62:56:14.8	17.22	0.01	16.36	0.01	16.01	0.01
12:30: 7.27	-62:56:26.7	16.97	0.01	16.07	0.01	15.80	0.01
12:30: 7.30	-62:56:49.9	19.24	0.03	17.98	0.04	17.34	0.05
12:30: 7.30	-62:55:51.3	19.00	0.04	18.02	0.05	17.98	0.10

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 7.31	-62:56:42.3	19.84	0.05	17.82	0.03	17.44	0.09
12:30: 7.32	-62:56:48.9	18.92	0.02	17.41	0.02	16.99	0.04
12:30: 7.32	-62:57:10.9	16.58	0.00	15.68	0.00	15.38	0.01
12:30: 7.33	-62:56:59.9	19.14	0.03	17.85	0.04	17.20	0.05
12:30: 7.39	-62:57:36.0	18.36	0.01	17.10	0.01	16.72	0.02
12:30: 7.38	-62:56: 6.8	18.93	0.04	17.84	0.03	17.48	0.06
12:30: 7.40	-62:57:28.1	17.67	0.01	16.94	0.01	16.59	0.02
12:30: 7.43	-62:56:13.2	17.16	0.01	16.26	0.01	15.91	0.02
12:30: 7.46	-62:55:54.8	14.69	0.00	13.91	0.00	13.72	0.00
12:30: 7.47	-62:56:28.8	18.57	0.02	17.28	0.02	17.61	0.06
12:30: 7.47	-62:56:28.8	18.57	0.02	17.28	0.02	17.61	0.06
12:30: 7.47	-62:56:28.8	18.57	0.02	17.28	0.02	17.61	0.06
12:30: 7.47	-62:56:23.1	19.41	0.03	18.34	0.04	17.66	0.05
12:30: 7.47	-62:56:11.0	13.83	0.00	13.35	0.00	13.28	0.00
12:30: 7.48	-62:57:12.0	17.41	0.01	16.36	0.01	16.40	0.02
12:30: 7.51	-62:57:17.9	17.54	0.01	16.34	0.01	15.83	0.02
12:30: 7.53	-62:57:21.4	19.51	0.04	18.14	0.04	16.89	0.05
12:30: 7.53	-62:56:44.8	17.88	0.01	16.98	0.01	16.50	0.02
12:30: 7.54	-62:56: 0.7	19.85	0.04	18.11	0.03	16.60	0.02
12:30: 7.55	-62:57:30.0	17.99	0.02	16.98	0.02	16.85	0.03
12:30: 7.55	-62:57: 9.1	20.64	0.11	18.71	0.05	18.03	0.09
12:30: 7.55	-62:56:33.5	17.18	0.00	16.33	0.01	16.20	0.02
12:30: 7.58	-62:57:20.3	19.51	0.04	18.14	0.04	16.85	0.05
12:30: 7.60	-62:57:31.4	17.45	0.01	16.64	0.01	16.35	0.01
12:30: 7.62	-62:57:17.6	17.54	0.01	16.34	0.01	15.80	0.01
12:30: 7.62	-62:55:58.0	17.64	0.01	16.73	0.01	16.58	0.02
12:30: 7.63	-62:56:20.4	19.99	0.05	18.49	0.04	17.69	0.05
12:30: 7.66	-62:56:34.7	16.67	0.00	15.77	0.00	15.59	0.01
12:30: 7.69	-62:56:48.5	19.79	0.06	18.45	0.08	17.48	0.07
12:30: 7.71	-62:57:26.8	19.02	0.03	18.15	0.04	17.70	0.05
12:30: 7.72	-62:57:44.6	16.81	0.00	16.17	0.01	16.02	0.01
12:30: 7.73	-62:56:10.4	13.83	0.00	13.35	0.00	16.60	0.03
12:30: 7.74	-62:56:16.4	15.16	0.00	14.60	0.00	14.98	0.01
12:30: 7.79	-62:56:26.5	18.27	0.01	17.44	0.02	17.12	0.03
12:30: 7.79	-62:56: 6.6	16.81	0.01	15.78	0.01	15.23	0.01
12:30: 7.84	-62:57: 0.0	17.49	0.01	16.61	0.01	16.31	0.02
12:30: 7.84	-62:55:53.2	13.71	0.00	18.02	0.03	16.51	0.03
12:30: 7.85	-62:57:19.9	19.42	0.03	18.13	0.03	17.34	0.05
12:30: 7.86	-62:56:58.9	17.74	0.01	16.61	0.01	16.46	0.02
12:30: 7.86	-62:55:58.7	19.64	0.04	17.84	0.02	17.52	0.05
12:30: 7.87	-62:56:49.3	17.21	0.01	16.27	0.01	15.60	0.01
12:30: 7.87	-62:56:49.3	17.21	0.01	16.27	0.01	15.60	0.01
12:30: 7.87	-62:56: 8.7	19.52	0.05	19.30	0.12	18.58	0.18
12:30: 7.88	-62:56:16.0	15.16	0.00	14.60	0.00	14.62	0.00
12:30: 7.91	-62:56:14.0	17.64	0.01	16.94	0.02	16.96	0.03
12:30: 7.91	-62:56:45.4	17.85	0.01	16.94	0.01	16.58	0.03
12:30: 7.92	-62:57:32.7	19.08	0.04	17.95	0.04	18.14	0.10
12:30: 7.94	-62:57:34.3	18.06	0.01	17.07	0.01	16.73	0.02
12:30: 7.94	-62:56:52.5	18.36	0.02	17.00	0.02	16.08	0.02
12:30: 8.00	-62:57:48.9	18.75	0.02	17.96	0.04	17.57	0.05
12:30: 8.00	-62:56:17.7	17.77	0.01	16.76	0.01	17.18	0.04
12:30: 8.01	-62:57: 1.2	17.83	0.01	16.85	0.01	16.59	0.02
12:30: 8.04	-62:56:47.7	18.97	0.04	17.12	0.03	16.00	0.02
12:30: 8.06	-62:57:31.3	18.86	0.02	17.94	0.03	17.64	0.05

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ ''')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 8.06	-62:55:55.4	17.33	0.01	17.05	0.01	17.27	0.04
12:30: 8.11	-62:56: 7.4	17.87	0.01	16.99	0.01	16.60	0.02
12:30: 8.13	-62:56:58.8	18.64	0.02	17.58	0.03	17.42	0.06
12:30: 8.14	-62:57:37.5	19.06	0.03	18.22	0.04	18.01	0.07
12:30: 8.15	-62:57: 6.4	19.30	0.03	18.32	0.03	17.86	0.06
12:30: 8.15	-62:56:54.3	14.29	0.00	13.12	0.00	16.50	0.03
12:30: 8.16	-62:57: 9.5	19.08	0.02	18.15	0.03	17.80	0.06
12:30: 8.17	-62:57:17.8	18.57	0.01	17.45	0.01	16.93	0.02
12:30: 8.19	-62:57:29.1	18.96	0.03	18.04	0.04	17.49	0.05
12:30: 8.19	-62:57:31.6	18.74	0.02	17.69	0.02	17.37	0.04
12:30: 8.20	-62:56:46.5	18.41	0.01	17.19	0.02	16.85	0.03
12:30: 8.20	-62:55:53.5	13.71	0.00	13.19	0.00	13.16	0.00
12:30: 8.23	-62:57:35.9	17.65	0.01	16.91	0.01	16.93	0.03
12:30: 8.24	-62:56: 3.9	19.25	0.07	18.38	0.08	18.23	0.12
12:30: 8.24	-62:56:10.2	19.22	0.03	17.90	0.03	17.32	0.04
12:30: 8.27	-62:56: 6.7	17.48	0.01	16.47	0.01	16.24	0.02
12:30: 8.28	-62:56:16.4	17.88	0.01	16.98	0.01	16.69	0.02
12:30: 8.28	-62:56:43.7	18.76	0.02	18.07	0.05	17.56	0.06
12:30: 8.35	-62:56: 0.5	16.37	0.00	15.69	0.00	15.63	0.01
12:30: 8.36	-62:57: 2.7	18.69	0.01	17.85	0.02	17.32	0.04
12:30: 8.39	-62:56:32.5	13.60	0.00	13.21	0.00	13.30	0.00
12:30: 8.39	-62:56:59.1	17.35	0.01	16.56	0.01	16.33	0.02
12:30: 8.40	-62:57:26.0	17.76	0.01	16.97	0.01	16.68	0.02
12:30: 8.41	-62:57:29.0	18.55	0.01	17.63	0.02	17.28	0.03
12:30: 8.43	-62:56:53.9	14.29	0.00	13.12	0.00	12.78	0.00
12:30: 8.43	-62:56:53.9	14.29	0.00	13.12	0.00	12.78	0.00
12:30: 8.43	-62:56:53.9	14.29	0.00	13.12	0.00	12.78	0.00
12:30: 8.46	-62:57: 7.4	19.77	0.08	18.98	0.13	18.40	0.13
12:30: 8.46	-62:56:51.9	17.05	0.01	15.31	0.01	16.25	0.03
12:30: 8.50	-62:57:22.1	15.69	0.00	15.01	0.00	14.82	0.00
12:30: 8.57	-62:55:55.5	18.12	0.03	17.67	0.04	17.80	0.09
12:30: 8.58	-62:57:45.8	16.04	0.00	15.36	0.00	15.27	0.01
12:30: 8.58	-62:56: 4.8	15.29	0.00	14.07	0.00	13.71	0.00
12:30: 8.59	-62:56:45.2	18.53	0.02	17.54	0.02	17.26	0.04
12:30: 8.59	-62:56:31.0	16.01	0.00	13.21	0.00	16.35	0.02
12:30: 8.63	-62:57:23.4	17.14	0.00	15.01	0.00	16.30	0.01
12:30: 8.65	-62:57:36.5	18.36	0.01	17.55	0.02	17.23	0.04
12:30: 8.67	-62:56: 0.0	19.08	0.03	18.27	0.05	18.15	0.10
12:30: 8.67	-62:56:17.3	17.65	0.01	16.67	0.01	16.30	0.02
12:30: 8.68	-62:56:48.8	19.64	0.04	18.90	0.06	18.26	0.09
12:30: 8.68	-62:57: 6.6	18.47	0.01	17.39	0.02	16.99	0.03
12:30: 8.69	-62:55:53.8	15.86	0.00	15.15	0.00	14.97	0.01
12:30: 8.69	-62:56: 3.0	16.54	0.00	15.78	0.00	15.85	0.01
12:30: 8.71	-62:57:39.9	19.65	0.04	17.79	0.03	16.81	0.03
12:30: 8.74	-62:56:31.7	16.96	0.00	16.23	0.01	16.20	0.01
12:30: 8.74	-62:57: 8.8	19.29	0.05	18.49	0.08	18.49	0.15
12:30: 8.75	-62:56:52.3	15.85	0.01	15.21	0.01	15.13	0.01
12:30: 8.80	-62:57:31.0	17.42	0.01	16.43	0.01	16.19	0.01
12:30: 8.79	-62:55:55.8	18.39	0.02	17.44	0.02	17.42	0.05
12:30: 8.81	-62:57:47.4	16.23	0.01	15.65	0.01	15.40	0.01
12:30: 8.80	-62:56:14.8	15.78	0.00	14.33	0.00	13.85	0.00
12:30: 8.81	-62:57:10.9	19.01	0.02	18.15	0.03	17.68	0.05
12:30: 8.85	-62:57: 7.4	18.38	0.01	17.27	0.02	17.08	0.04
12:30: 8.86	-62:56: 4.3	17.02	0.01	15.86	0.00	15.83	0.01

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 8.86	-62:56:20.7	17.92	0.01	16.96	0.01	16.73	0.03
12:30: 8.87	-62:56:56.3	13.51	0.00	13.04	0.00	13.08	0.00
12:30: 8.87	-62:57:17.9	18.66	0.01	17.62	0.02	17.18	0.03
12:30: 8.93	-62:57:31.6	17.42	0.01	16.43	0.01	15.97	0.01
12:30: 8.93	-62:57:13.7	18.54	0.01	17.70	0.02	17.19	0.03
12:30: 8.96	-62:57:40.6	20.63	0.09	18.04	0.03	16.80	0.02
12:30: 8.97	-62:57: 1.5	17.11	0.00	15.94	0.00	15.44	0.01
12:30: 8.98	-62:55:54.6	19.14	0.06	17.44	0.03	16.84	0.04
12:30: 9.02	-62:56: 4.0	17.17	0.01	16.08	0.00	15.75	0.01
12:30: 9.07	-62:57: 2.0	17.12	0.00	15.89	0.00	15.48	0.01
12:30: 9.07	-62:57:46.3	13.85	0.00	12.76	0.00	12.47	0.00
12:30: 9.08	-62:57: 6.5	18.88	0.02	17.81	0.02	17.70	0.06
12:30: 9.10	-62:57:14.3	18.37	0.01	17.26	0.01	16.86	0.02
12:30: 9.20	-62:56:51.4	18.05	0.01	17.16	0.02	16.94	0.03
12:30: 9.20	-62:55:55.7	18.78	0.04	17.65	0.03	17.54	0.06
12:30: 9.22	-62:56:14.1	21.48	0.28	18.96	0.09	16.95	0.03
12:30: 9.27	-62:57:32.9	18.97	0.02	17.84	0.03	17.32	0.04
12:30: 9.27	-62:56:20.7	19.01	0.03	17.98	0.03	17.84	0.06
12:30: 9.28	-62:56:12.1	17.75	0.01	17.41	0.03	16.43	0.02
12:30: 9.31	-62:56:33.0	18.49	0.02	17.58	0.02	17.21	0.04
12:30: 9.33	-62:57: 3.5	19.43	0.04	18.17	0.04	17.18	0.03
12:30: 9.32	-62:56: 7.2	18.25	0.01	17.34	0.02	17.08	0.04
12:30: 9.33	-62:57: 6.2	18.19	0.01	17.24	0.01	16.94	0.03
12:30: 9.37	-62:57:29.9	19.09	0.02	18.16	0.03	17.87	0.06
12:30: 9.37	-62:56:48.0	18.49	0.02	17.15	0.01	16.50	0.02
12:30: 9.42	-62:56:11.8	17.75	0.01	16.79	0.01	16.25	0.02
12:30: 9.43	-62:56:26.0	15.77	0.00	14.56	0.00	14.14	0.00
12:30: 9.44	-62:57:25.5	17.03	0.00	16.16	0.01	15.97	0.01
12:30: 9.45	-62:57:26.7	16.88	0.00	16.18	0.01	15.97	0.01
12:30: 9.46	-62:56:52.3	18.84	0.02	17.95	0.04	17.74	0.06
12:30: 9.50	-62:56:31.5	19.06	0.03	17.62	0.02	16.82	0.02
12:30: 9.50	-62:56:30.4	19.12	0.02	17.81	0.02	17.36	0.04
12:30: 9.50	-62:56:30.4	19.12	0.02	17.81	0.02	17.36	0.04
12:30: 9.51	-62:57:22.9	19.11	0.02	18.06	0.02	17.51	0.04
12:30: 9.55	-62:56: 3.1	17.17	0.00	16.25	0.01	16.06	0.01
12:30: 9.56	-62:56:56.7	17.60	0.01	16.72	0.01	16.32	0.02
12:30: 9.58	-62:56:25.3	15.96	0.00	14.56	0.00	14.52	0.00
12:30: 9.61	-62:57:13.3	18.85	0.02	17.80	0.02	17.28	0.03
12:30: 9.65	-62:57:47.1	12.70	0.00	11.98	0.00	11.92	0.00
12:30: 9.65	-62:56: 9.2	13.58	0.00	12.47	0.00	12.30	0.00
12:30: 9.69	-62:56:33.3	17.95	0.01	17.00	0.02	16.79	0.03
12:30: 9.72	-62:56:57.0	17.53	0.01	16.58	0.01	16.26	0.02
12:30: 9.82	-62:57:29.2	17.16	0.00	16.22	0.01	15.98	0.01
12:30: 9.82	-62:57:23.7	19.00	0.02	18.17	0.03	17.43	0.04
12:30: 9.82	-62:56:34.3	17.73	0.01	16.70	0.01	16.31	0.02
12:30: 9.83	-62:57:19.6	19.06	0.02	17.52	0.02	16.58	0.02
12:30: 9.86	-62:56:10.0	15.43	0.00	12.47	0.00	14.94	0.01
12:30: 9.90	-62:57: 9.6	18.24	0.01	17.21	0.02	17.20	0.04
12:30: 9.91	-62:57:11.2	17.79	0.01	16.97	0.01	16.66	0.02
12:30: 9.92	-62:56:33.0	18.59	0.01	16.89	0.01	16.19	0.01
12:30: 9.93	-62:57:28.9	17.16	0.00	16.22	0.01	15.95	0.01
12:30: 9.93	-62:57:34.5	19.29	0.03	18.11	0.03	17.50	0.05
12:30: 9.94	-62:56: 2.5	19.50	0.05	18.42	0.05	18.23	0.10
12:30: 9.95	-62:56:38.6	19.04	0.02	17.98	0.02	17.71	0.05

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30: 9.97	-62:56:16.4	18.03	0.01	17.08	0.02	16.84	0.03
12:30:10.01	-62:57:24.2	19.05	0.02	17.83	0.02	16.86	0.02
12:30:10.03	-62:56:21.1	17.80	0.01	16.87	0.01	16.48	0.02
12:30:10.05	-62:57:40.8	18.53	0.01	17.36	0.02	16.83	0.02
12:30:10.07	-62:56:24.6	19.14	0.03	18.00	0.03	17.70	0.05
12:30:10.07	-62:55:57.6	14.57	0.00	13.95	0.00	13.86	0.00
12:30:10.08	-62:56:56.8	14.82	0.00	14.29	0.00	14.29	0.00
12:30:10.08	-62:56:43.1	17.48	0.01	16.58	0.01	16.25	0.01
12:30:10.10	-62:56:44.0	17.99	0.01	16.60	0.01	16.76	0.02
12:30:10.10	-62:57:38.2	16.89	0.00	16.09	0.01	15.88	0.01
12:30:10.12	-62:57:15.3	18.73	0.02	17.72	0.02	17.53	0.05
12:30:10.12	-62:56:32.7	19.08	0.02	17.57	0.02	17.13	0.03
12:30:10.13	-62:56:49.9	18.59	0.02	17.41	0.02	16.91	0.03
12:30:10.16	-62:56:51.2	18.51	0.01	17.51	0.02	17.28	0.04
12:30:10.18	-62:56:16.9	16.99	0.01	15.97	0.01	15.65	0.01
12:30:10.19	-62:57:12.3	17.75	0.01	16.47	0.01	16.07	0.01
12:30:10.19	-62:56:11.8	16.90	0.01	14.29	0.00	15.79	0.01
12:30:10.19	-62:56:13.4	15.67	0.00	14.29	0.00	13.89	0.00
12:30:10.20	-62:55:56.0	14.57	0.00	16.04	0.01	16.30	0.02
12:30:10.21	-62:56:42.7	17.52	0.01	16.58	0.01	16.31	0.02
12:30:10.21	-62:57:19.5	19.64	0.04	18.00	0.03	17.32	0.04
12:30:10.28	-62:56:54.3	17.33	0.01	16.49	0.01	16.19	0.01
12:30:10.28	-62:56: 2.3	23.32	1.81	18.90	0.09	17.78	0.06
12:30:10.30	-62:56: 0.1	19.06	0.04	18.16	0.04	17.87	0.08
12:30:10.38	-62:57:43.9	19.17	0.04	18.34	0.05	18.01	0.07
12:30:10.39	-62:56:26.3	17.83	0.01	17.02	0.01	16.82	0.03
12:30:10.40	-62:57:37.8	17.43	0.01	16.57	0.01	16.49	0.02
12:30:10.42	-62:56:43.6	19.27	0.05	18.12	0.04	18.35	0.13
12:30:10.42	-62:56:18.4	14.83	0.00	14.22	0.00	14.20	0.00
12:30:10.44	-62:56:23.0	18.00	0.01	17.03	0.01	16.74	0.03
12:30:10.45	-62:56:47.8	19.28	0.04	18.28	0.05	18.37	0.12
12:30:10.46	-62:56: 1.7	20.24	0.13	18.59	0.06	18.17	0.10
12:30:10.46	-62:56:24.4	17.14	0.01	16.28	0.01	15.83	0.01
12:30:10.47	-62:56:36.3	15.57	0.00	14.82	0.00	14.60	0.00
12:30:10.47	-62:57: 5.8	17.21	0.01	16.17	0.01	15.77	0.01
12:30:10.51	-62:56:50.0	16.30	0.00	15.56	0.01	15.08	0.01
12:30:10.54	-62:57:13.9	18.60	0.02	17.39	0.02	16.96	0.03
12:30:10.60	-62:56:24.4	17.18	0.01	16.17	0.01	15.89	0.01
12:30:10.65	-62:57:37.0	18.15	0.01	17.16	0.01	17.13	0.03
12:30:10.65	-62:56:22.9	17.76	0.01	16.91	0.01	16.86	0.03
12:30:10.68	-62:56:16.9	17.60	0.01	16.69	0.01	16.50	0.02
12:30:10.70	-62:57:47.1	18.82	0.02	18.09	0.03	17.68	0.05
12:30:10.69	-62:56:15.7	17.43	0.01	16.45	0.01	16.16	0.01
12:30:10.69	-62:56:49.8	15.72	0.00	14.68	0.00	14.42	0.00
12:30:10.69	-62:56:43.4	17.84	0.01	16.94	0.01	16.68	0.02
12:30:10.70	-62:56:39.8	19.68	0.05	18.19	0.03	18.01	0.08
12:30:10.70	-62:57:21.2	19.21	0.03	18.02	0.03	17.55	0.04
12:30:10.70	-62:56:57.2	19.03	0.03	17.87	0.03	17.28	0.04
12:30:10.71	-62:57:32.8	19.21	0.03	18.25	0.03	18.17	0.09
12:30:10.71	-62:56:47.5	18.35	0.02	17.33	0.02	17.21	0.04
12:30:10.72	-62:57:29.8	18.62	0.02	17.50	0.02	17.21	0.03
12:30:10.76	-62:57:40.6	17.33	0.01	16.49	0.01	16.12	0.01
12:30:10.80	-62:56:34.1	18.40	0.02	17.50	0.02	17.20	0.04
12:30:10.82	-62:56:23.5	16.87	0.01	15.85	0.01	15.81	0.01

α (J2000) (h m s)	δ (J2000) ($^{\circ}$ " ')	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30:10.84	-62:56:45.8	18.78	0.03	17.94	0.03	17.82	0.07
12:30:10.86	-62:57:40.0	17.33	0.01	16.48	0.01	16.08	0.01
12:30:10.89	-62:57:46.6	18.66	0.02	17.57	0.02	17.46	0.04
12:30:10.90	-62:57: 4.6	17.82	0.01	16.78	0.01	16.42	0.02
12:30:10.89	-62:56: 3.6	17.44	0.01	16.46	0.01	16.31	0.01
12:30:10.90	-62:56:35.9	19.38	0.06	18.15	0.04	17.58	0.06
12:30:10.92	-62:56:22.8	16.75	0.01	15.85	0.01	15.61	0.01
12:30:10.94	-62:55:52.6	17.72	0.01	16.82	0.02	16.42	0.03
12:30:11.00	-62:56:33.2	18.06	0.01	17.08	0.01	16.80	0.03
12:30:11.00	-62:57: 5.4	17.86	0.01	16.85	0.01	16.53	0.02
12:30:11.01	-62:55:55.2	12.67	0.00	11.98	0.00	11.63	0.00
12:30:11.10	-62:56:20.8	17.83	0.01	16.92	0.02	16.62	0.03
12:30:11.11	-62:56:59.8	17.03	0.01	16.37	0.01	16.33	0.02
12:30:11.12	-62:57:31.3	17.10	0.00	16.05	0.00	15.85	0.01
12:30:11.25	-62:57:17.5	17.81	0.01	17.16	0.01	16.74	0.03
12:30:11.27	-62:57: 2.1	18.63	0.03	17.71	0.03	17.22	0.04
12:30:11.27	-62:56:10.1	18.42	0.01	17.38	0.02	17.20	0.04
12:30:11.29	-62:56: 7.6	20.99	0.15	17.66	0.02	16.38	0.02
12:30:11.31	-62:57: 0.2	17.82	0.01	16.67	0.01	16.81	0.03
12:30:11.34	-62:57: 7.6	17.20	0.01	16.33	0.01	16.07	0.01
12:30:11.37	-62:57:24.3	17.64	0.01	16.88	0.01	16.45	0.02
12:30:11.37	-62:56:34.4	17.95	0.02	17.02	0.02	16.72	0.03
12:30:11.41	-62:56:15.9	17.73	0.01	16.83	0.01	16.56	0.02
12:30:11.42	-62:56:22.3	15.12	0.00	13.97	0.00	13.67	0.00
12:30:11.43	-62:57:23.2	17.36	0.01	16.41	0.01	16.05	0.01
12:30:11.45	-62:56:42.0	16.12	0.00	15.42	0.00	15.28	0.01
12:30:11.49	-62:57:12.1	16.80	0.00	15.97	0.01	15.71	0.01
12:30:11.48	-62:56:35.7	18.61	0.03	17.44	0.03	17.32	0.05
12:30:11.50	-62:56:33.6	18.00	0.03	17.03	0.02	16.80	0.03
12:30:11.52	-62:57:22.5	17.74	0.01	16.62	0.01	16.47	0.02
12:30:11.53	-62:56:18.7	17.93	0.01	16.99	0.02	16.84	0.03
12:30:11.55	-62:57: 8.3	17.50	0.01	16.42	0.01	16.29	0.02
12:30:11.55	-62:56:59.5	19.49	0.09	17.99	0.08	16.99	0.04
12:30:11.64	-62:57:48.6	18.02	0.02	17.26	0.02	16.94	0.04
12:30:11.64	-62:57:35.6	15.90	0.00	15.23	0.00	15.11	0.01
12:30:11.65	-62:57:37.2	17.57	0.01	17.38	0.02	16.96	0.03
12:30:11.67	-62:57:43.4	17.18	0.01	16.38	0.01	16.00	0.01
12:30:11.67	-62:56: 3.0	18.82	0.04	17.78	0.04	17.69	0.07
12:30:11.67	-62:56: 9.2	18.81	0.03	17.93	0.03	17.63	0.05
12:30:11.68	-62:55:52.5	17.96	0.01	17.02	0.02	16.76	0.03
12:30:11.75	-62:56:34.6	17.63	0.01	16.66	0.01	16.37	0.02
12:30:11.78	-62:57: 7.5	18.70	0.02	17.57	0.03	17.53	0.06
12:30:11.81	-62:56:44.9	18.00	0.01	17.19	0.02	16.89	0.03
12:30:11.81	-62:55:54.5	18.75	0.04	17.79	0.04	17.24	0.05
12:30:11.82	-62:56: 5.4	18.86	0.04	17.72	0.03	17.30	0.05
12:30:11.86	-62:56:27.2	18.78	0.02	17.79	0.02	17.55	0.05
12:30:11.87	-62:56:54.3	16.45	0.00	15.41	0.00	15.05	0.01
12:30:11.88	-62:57:30.8	17.99	0.01	17.02	0.01	16.52	0.02
12:30:11.89	-62:57:42.0	17.83	0.01	17.06	0.02	16.60	0.02
12:30:11.89	-62:56:47.0	18.50	0.02	18.00	0.03	17.68	0.06
12:30:11.90	-62:57: 1.9	13.27	0.00	12.13	0.00	11.96	0.00
12:30:11.93	-62:56: 3.8	17.56	0.01	16.81	0.02	16.53	0.02
12:30:11.97	-62:55:54.0	18.70	0.04	17.45	0.03	17.12	0.05
12:30:12.06	-62:55:55.6	17.91	0.02	16.90	0.02	16.66	0.03

$\alpha(J2000)$ (h m s)	$\delta(J2000)$ ($^{\circ}$ $'$ $''$)	J mag	ϵ_J mag	H mag	ϵ_H mag	Ks mag	ϵ_{Ks} mag
12:30:12.07	-62:57:34.7	18.41	0.01	17.51	0.02	17.11	0.03
12:30:12.08	-62:57:47.9	16.46	0.00	15.44	0.00	15.53	0.01
12:30:12.08	-62:56:39.0	17.99	0.01	17.15	0.01	16.74	0.02
12:30:12.10	-62:56:26.4	18.70	0.05	17.69	0.05	17.39	0.07
12:30:12.13	-62:57:26.2	18.01	0.01	17.05	0.01	16.77	0.03
12:30:12.13	-62:56:13.0	19.23	0.03	18.13	0.04	17.84	0.08
12:30:12.13	-62:56:58.0	16.88	0.00	16.01	0.01	15.74	0.01
12:30:12.13	-62:56:23.3	18.25	0.02	17.46	0.03	17.03	0.04
12:30:12.13	-62:56:28.8	19.90	0.10	18.29	0.06	17.33	0.06
12:30:12.14	-62:57: 9.7	14.55	0.00	13.48	0.00	13.10	0.00
12:30:12.14	-62:56: 7.6	16.28	0.00	15.50	0.00	15.25	0.01
12:30:12.16	-62:57: 0.1	17.61	0.01	16.04	0.01	16.50	0.02
12:30:12.21	-62:56: 3.6	15.34	0.00	14.55	0.00	14.28	0.00
12:30:12.23	-62:56:30.8	17.46	0.01	16.60	0.01	16.34	0.02
12:30:12.23	-62:57:28.1	17.84	0.01	17.00	0.01	16.67	0.02
12:30:12.25	-62:56:48.4	13.93	0.00	13.60	0.00	13.61	0.00
12:30:12.25	-62:56:48.4	13.93	0.00	13.60	0.00	13.61	0.00
12:30:12.32	-62:57:22.4	17.18	0.01	16.40	0.01	15.87	0.01
12:30:12.32	-62:56:25.1	17.98	0.02	16.98	0.02	16.88	0.04
12:30:12.33	-62:56:42.0	19.66	0.06	18.96	0.09	18.23	0.10
12:30:12.36	-62:57: 7.4	18.71	0.03	17.58	0.02	17.38	0.05
12:30:12.39	-62:56: 1.3	15.72	0.00	14.87	0.00	14.63	0.00
12:30:12.41	-62:57:10.2	17.17	0.01	14.86	0.00	16.39	0.02
12:30:12.42	-62:56:26.9	16.03	0.00	14.82	0.00	14.38	0.00
12:30:12.44	-62:57:22.0	17.13	0.01	16.17	0.01	15.81	0.01
12:30:12.46	-62:55:56.5	18.26	0.02	17.28	0.02	16.96	0.03
12:30:12.48	-62:56:38.5	15.40	0.00	14.89	0.00	14.82	0.00
12:30:12.51	-62:56: 8.3	18.92	0.06	18.26	0.06	18.32	0.12
12:30:12.52	-62:57:44.4	19.09	0.03	17.95	0.03	17.78	0.08

Referencias

- [1] Allen, L. E., Calvet, N., D'Alessio, P., Merin, B., Hartmann, L., Megeath, S. T., Gutermuth, R. A., Muzerolle, J., Pipher, J. L., Myers, P. C., & Fazio, G., 2004, *ApJS*, 154, 363
- [2] André, P., Ward-Thompson, D., Barsony, M., 1993, *ApJ*, 406, 122
- [3] Baade, W., 1943, *ApJ*, 97, 119
- [4] Bachiller, R., 1996, *A&AAR*, 34, 111
- [5] Balog, Z., Rieke, G., Su, K. Muzerolle, J., & Young, E., 2006, *ApJ*, 650, L83
- [6] Bate, M., Bonnell, I. & Price, N. 1995, *MNRAS*, 277, 362
- [7] Beltrán, M. T., Brand, J., Cesaroni, R., Fontani, F., Pezzuto, S., Testi, L., Molinari, S., 2006, *MNRAS*, 447, 221
- [8] Bessell, M. S. & Brett, J. M., 1988, *PASP*, 100, 1134
- [9] Bica, E., Dutra, C. M., Barbuy, B., 2003a, *A&A*, 397, 177
- [10] Bica, E., Dutra, C. M., Soares, J., Barbuy, B., 2003b, *A&A*, 404, 223
- [11] Bik, A., Kaper, L., Waters, L. B. F. M., 2006, *A&A*, 455, 561
- [12] Blair, W., 2004, "*1604-2004: Supernovae as Cosmological Lighthouses*," a conference held June 2004 in Padua, Italy.
- [13] Bonnell, I., Bate M., Clarke, C. & Pringle, J., 1997, *MNRAS*, 285, 201
- [14] Bonnell, I., Bate, M. & Zinnecker, H., 1998, *MNRAS*, 298, 93
- [15] Bonnell, I. & Bate, M., 2002, *MNRAS*, 336, 659
- [16] Bonnell, I., Bate, M. & Vine, S., 2003, *MNRAS*, 343, 413
- [17] Borkowski, K. J., Sarazin, C. L., & Blondin, J., 1992, *ApJ*, 400, 222
- [18] Borkowski, K. J., Sarazin, C. L., & Blondin, J., 1994, *ApJ*, 429, 710
- [19] Bowyer, S., Byram, E., Chubb, T., & Friedman, H., 1965, *Science*, 147, 394
- [20] Brand, J., Blitz, L., 1993, *A&A*, 275, 67
- [21] Breen, S. L., Caswell, J. L., Ellingsen, S. P., Phillips, C. J., 2010, *MNRAS*, 406, 1487

- [22] Bronfman, L., Nyman, L. A., May, J., 1996, A&AS, 115, 81
- [23] Cambr esy, L., Beichman, C. A., Jarrett, T. H., Cutri, R. M., 2002, AJ, 123, 2559
- [24] Carroll, B. & Ostile, D., 2007. En *An Introduction to Modern Astrophysics. 2nd ed.* Pearson Education, Inc. Editorial Addison-Wesley.
- [25] Cassam-Chenai, G. Decourchelle, A., Ballet, J., Hwang, U., Hughes, J., & Petre, R., 2004, A&A, 414, 545
- [26] Caswell, J., Haynes, R., 1987, A&A, 171, 261 Caswell, J. L., Vaile, R. A., Ellingsen, S. P., Whiteoak, J. B., Norris, R. P., 1995, MNRAS, 272, 96 Caramazza, M., Micela, G., Prisinzano, L., Rebull, L., Sciortino, S., & Stauffer, J. R., 2008, A&A, 488, 211
- [27] Cesaroni, R., Galli, D., Lodato, G., Walmsley, C. M., Zhang, Q., 2007, En *Protostars and Planets V*, B. Reipurth, D. Jewitt, and K. Keil (Editores), University of Arizona Press, Tucson, pag. 951
- [28] Chini, R., Kr ugel E. & Wargau, W. 1987, A&A, 181, 378
- [29] Churchwell, E. 2002, ARA&A, 40, 27
- [30] Cohen, R. J., Masheded, M. R. W., Caswell, J. L., 1995, MNRAS, 274, 808
- [31] Davis, C. J., Gell, R., Khanzadyan, T., Smith, M. D., Jenness, T., 2010, A&A, 511, 24
- [32] Decourchelle, A., & Ballet, J. 1994, A&A, 287, 206
- [33] Doggett, J. B., & Branch, D. 1985, AJ, 90, 2303
- [34] Dutra, C. M., Bica, E., Soares, J. & Barbuy, B., 2003, A&A, 400, 533
- [35] Fich, M., Blitz, L. & Stark, A., 1989, ApJ, 342, 272
- [36] Fitzpatrick, E. L., 1999, PASP, 111, 63
- [37] Hanson, M. M., Howarth, I. D., Conti, P. S., 1997, ApJ, 489, 698
- [38] Hillenbrand, L., 1997, AJ, 113, 1733
- [39] Hwang, U., Holt, S. S., Petre, R., Szymkowiak, A. E. & Borkowski, K. J., 2000, BAAS, 32, 1236
- [40] Iben, I., 1964, ARA&A, 5, 571
- [41] Iben, I., 1964, ApJ, 140, 1631
- [42] Kinugasa, K. & Tsunemi, H., 1999, PASJ, 51, 239
- [43] Koenig, X., Allen, L., Gutermuth, R., Hora, J., Brunt, C. & Muzerolle, J., 2008, ApJ, 688, 1142
- [44] Koornneef, J., 1983, A&A, 128, 84
- [45] Kroupa, P., 2001, MNRAS, 322, 231
- [46] Kurucz, R., L., 1994, Kurucz CD.ROM 19, Solar Model Abundance Model Atmosphere (Cambridge:SOA), <http://kurucz.harvard.edu>.
- [47] Lada, E., 1999, En *The Origin of Stars and Planetary Systems. Editado por Charles J. Lada and Nikolaos D. Kylafis. Kluwer Academic Publishers, pag. 441*

- [48] Lada, C., 1987, *En Star forming regions. Proceedings of the Symposium, Tokyo, Japan. Dordrecht, D. Reidel Publishing Co.*, pag. 1
- [49] Lada, C., 1988, *En Formation and Evolution of Low Mass Stars. Editado por A.K. Dupree and M.T.V.T. Lago. Dordrecht: Kluwer, NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C, Volume 241*, pag. 93
- [50] Lada, C., Thronson, H., Smith, H., Schwartz, P., Glaccum, W., 1984, *ApJ*, 286, 302
- [51] Lada, C. & Lada, E., 2003, *ARA&A*, 41, 57
- [52] Marengo, M., Jayawardhana, R., Fazio, G., Hoffmann, W., Hora, J., Dayal, A. & Deutsch, L., 2000, *ApJ*, 541, L63
- [53] Murphy, D. C., May, J., 1991, *A&A*, 247, 202
- [54] Ortiz, R., Roman-Lopes, A., Abraham, Z., 2007, *A&A*, 461, 949
- [55] Padgett, D. L., Brandner, W., Stapelfeldt, K. R. et al., 1999, *AJ*, 117, 1490
- [56] Palla, F., Stahler, S. W., 1999, *ApJ*, 525, 772
- [57] Persi, P., Tapia, M., Gómez, M., 2011, *A&A*, 535, 1
- [58] Persson, S. E., Murphy, D. C., Krzeminski, W., Roth, M., Rieke, M. J., 1998, *AJ*, 116, 2475
- [59] Pestalozzi, M. R., Minier, V. & Booth, R. S., 2005, *A&A*, 432, 737
- [60] Preibisch, T., Balega, Y., Schertl, D. & Weigelt, G., 2003, *A&A*, 412, 735
- [61] Poetzel, R., Mundt, R. & Ray, T., 1992, *A&A*, 262, 229
- [62] Rieke, G. H. & Lebofsky, M. J., 1985, *ApJ*, 288, 618
- [63] Robitaille, T. P., Whitney, B. A., Indebetouw, R., Wood, K., Denzmore, P., 2006, *ApJS*, 167, 256
- [64] Robitaille, T. P., Whitney, B. A., Indebetouw, R., Wood, K., 2007, *ApJS*, 169, 328
- [65] Rodgers, A. W., Campbell, C. T., Whiteoak, J. B., 1960, *MNRAS*, 121, 103
- [66] Roman-Lopes, A., Abraham, Z., 2006, *AJ*, 131, 951
- [67] Salas, L., Cruz-González, I., Tapia, M., 2006, *RMA&AA*, 42, 273
- [68] Schaefer, B. E., 1996, *ApJ*, 459, 438
- [69] Sewilo, M., Watson, C., Araya, E., Churchwell, E., Hofner, P., Kurtz, S., et al. 2004, *ApJS*, 154, 553
- [70] Shu, F. & Adams, F., 1987, *En Circumstellar matter; Proceedings of the IAU Symposium, Heidelberg, Federal Republic of Germany, Dordrecht, D. Reidel Publishing Co.* pag. 7
- [71] Skrutskie, M. F., Cutri, M. R., Stiening, R., Weinberg, M., Schneider, S., et al., 2006, *AJ*, 113, 1163
- [72] Smith, A., Peacock, A., Arnaud, M., Ballet, J., Rothenflug, R., & Rocchia, R. 1989, *ApJ*, 347, 925
- [73] Stahler, S., Palla, F. & Ho, P., 2000, *En Protostars and Planets IV Editado por Mannings, V., Boss, A.P., Russell, S. S., Tucson: University of Arizona Press; p. 327*
- [74] Swift, J. J. & Welch, J. W. 2005, *ApJ*, 620, 823

- [75] Terebey, S., Shu, F. H., Cassen, P., 1984, *ApJ*, 340, 472
- [76] Torrelles, J., Patel, N., Gómez, J. & Anglada, G., 2002, *RMxAC*, 13, 108
- [77] Treves, A., Chiappetti, L., Tanzi, E., Tarengi, M., Gursky, H., Dupree, A., Hartmann, L., Raymond, J., Davis, R., Black, J., 1980, *ApJ*, 242, 1114
- [78] Trinidad, M., Torrelles, J., Rodríguez, L., Gómez, J., Ho, P., 2002, *En Cosmic Masers: From Proto-Stars to Black Holes, IAU Symposium #206, Rio de Janeiro, Brazil, Editado por Victor Mineese & Mark Reid, Editorial San Francisco, Astronomical Society of the Pacific, pag. 68*
- [79] Urquhart, J. S., Hoare, M. G. Purcell, C. R., Lumsden, S. L., Oudmaijer, R. D., Moore, T. J. T., Busfield, A. L., Mottram, J. C., Davies, B., 2009, *A&A*, 501, 539
- [80] Val'tts, I., Ellingsen, S., Slysh, V., Kalenskii, S., Otrupcek, R. & Larionov, G., 2000, *MNRAS*, 317, 315
- [81] van der Tak, F., van Dishoeck, E., Evans, N., Bakker, E. & Blake, G., 1999, *ApJ*, 522, 991
- [82] Walsh, A. J., Hyland, A. R., Robinson, G. & Burton, M. G., 1997, *MNRAS*, 291, 261
- [83] Walsh, A. J., Burton, M. G., Hyland, A. R. & Robinson, G., 1998, *MNRAS*, 301, 640
- [84] Whitney, B. A., Wood, K., Bjorkman, J. E., Wolff, M. J., 2003a, *ApJ*, 591, 1049
- [85] Whitney, B. A., Wood, K., Bjorkman, J. E., Cohen, M., 2003b, *ApJ*, 598, 1079
- [86] Wolfire, M., & Churchwell, E., 1994, *ApJ*, 427,
- [87] Yorke, H. W., 1986, *ARA&A*, 24, 49
- [88] Yorke, H. W., 1993, *En Massive Stars: Their Lives in the Interstellar Medium, ASP Conference Series; Vol. 35; Editado por J.P. Cassinelli, E.B. Churchwell, pag. 45*
- [89] Zinnecker, H. & Yorke, H. 2007, *ARA&A*, 45, 481