

00372

1



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**BINARIAS ABIERTAS EN EL CUMULO DE LA
NEBULOSA DE ORION**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS (ASTRONOMIA)**

P R E S E N T A

ALBERTO NIGOCHÉ NETRO

**DIRECTOR DE TESIS: DR. ARCADIO POVEDA RICALDE
CODIRECTOR DE TESIS: DR. ALEJANDRO RUELAS MAYORGA**

MEXICO, D. F.



2000



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres.

Gracias:

A toda mi familia.

A mis compañeros y amigos: Antígona, Chelene, Iqui, Anabel, Lorena, Erika, Alfredo, Wilder y Ruben.

Al Dr. Poveda, Alejandro Ruelas, Christine Allen, Miguel Ángel Herrera, J. A. De Diego, Edmundo Moreno y José Peña.

Al Instituto de Astronomía.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I. EL CÚMULO DE LA NEBULOSA DE ORIÓN (CNO).....	9
--	---

☆1.1	El complejo de Orión.....	9
☆1.2	Las Nubes moleculares A y B de la región de Orión.....	11
☆1.3	El Cúmulo de la Nebulosa de Orión.....	12
☆1.4	El Cúmulo del Trapecio de Orión	14
☆1.5	Los Proplyds de la región interna del CNO.....	15
☆1.6	Trabajos realizados sobre el CNO a lo largo del tiempo.....	16
☆1.6.1	El trabajo de Trumpler.....	16
☆1.6.2	El trabajo de Baade y Minkowsky.....	16
☆1.6.3	El trabajo de Haro.....	17
☆1.6.4	El trabajo de Pishmish.....	18
☆1.6.5	El trabajo de Parsamian y Chavira.....	18
☆1.6.6	El trabajo de Herbig y Terndrup.....	18
☆1.6.7	El trabajo de Hillenbrand y Hartman.....	19

CAPÍTULO II. LAS ESTRELLAS VARIABLES Y LAS ESTRELLAS H α DE LA REGION DE ORIÓN.....22

☆2.1	Las estrellas variables de Kholopov.....	22
☆2.2	Las estrellas variables candidatas a miembros del CNO	22
☆2.3	Las estrellas con H α en emisión de la región de Orión de Parsamian - Chavira.....	22
☆2.4	La precisión de coordenadas de las estrellas variables de Kholopov y Parsamian - Chavira.....	24
☆2.5	Distribución espacial proyectada de las estrellas del CNO....	26
☆2.6	La estructura del CNO.....	27

CAPÍTULO III. EL MÉTODO DEL VECINO MÁS CERCANO.....33

☆3.1	El vecino más cercano.....	33
☆3.2	Ley de distribución del vecino más cercano en una muestra azarosa de partículas.....	34
☆3.3	Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano	37
☆3.3.1	Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano con densidad constante.....	38
☆3.3.2	Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano con densidad variable.....	40
☆3.4	Simulaciones numéricas de un cúmulo estelar.....	40
☆3.4.1	Construcción de los cúmulos simulados.....	40

☆3.4.2	Ley de Öpik para la distribución de separaciones de binarias.	41
☆3.4.3	Distribución en la bóveda celeste de las estrellas de uno de los cúmulos simulados	44
☆3.5	Análisis estadístico de los cúmulos simulados.....	44
☆3.6	Términos que se utilizan para describir los resultados de las simulaciones.....	45
☆3.7	Datos obtenidos de las simulaciones con distintos porcentajes de binarias.....	47
☆3.8	Resultados más importantes de los datos obtenidos de las simulaciones.....	50

CAPÍTULO IV. BÚSQUEDA DE SISTEMAS BINARIOS EN EL CÚMULO DE LA NEBULOSA DE ORIÓN.....53

☆4.1	Lista de los resultados más importantes sobre la búsqueda de binarias obtenidos en el CNO.....	53
☆4.2	Catálogo de estrellas binarias encontradas en el CNO.....	54

CAPÍTULO V. DISTRIBUCIÓN DE SEPARACIONES DE ESTRELLAS BINARIAS EN GRUPOS DE DISTINTAS EDADES.....60

☆5.1	Distribución de separaciones de 79 estrellas binarias encontradas en el CNO.....	60
☆5.2	Conteos de separaciones de binarias en intervalos que crecen geométricamente.....	60

☆5.3	Análisis de la distribución de separaciones de 53 estrellas binarias del cúmulo de las Híadas.....	64
☆5.4	Muestra de estrellas binarias y múltiples de la vecindad solar.....	66
☆5.5	Distribución de separaciones de los 36 sistemas dobles y múltiples más jóvenes de la vecindad solar.....	67
☆5.6	Distribución de separaciones de los 87 sistemas dobles y múltiples más viejos de la vecindad solar.....	69
☆5.7	Técnica de corrección de incompletes de las distintas muestras de binarias.....	71
☆5.8	Distribución de separaciones corregida para los distintos grupos de estrellas binarias.....	71
☆5.9	Comparación de la distribución de separaciones de estrellas binarias y múltiples en grupos de distintas edades	74
☆5.9.1	Evolución temporal de la distribución de separaciones de binarias.....	75
CONCLUSIONES.....		77
APENDICES.....		79
☆	A.....	79
☆	B.....	94
BIBLIOGRAFIA.....		95

INTRODUCCIÓN.

Un sistema estelar es un grupo de estrellas ligadas gravitacionalmente. Los sistemas estelares pueden variar en tamaño y masa aproximadamente 14 órdenes de magnitud, desde estrellas binarias, a cúmulos estelares (10^2 a 10^6 estrellas), pasando por Galaxias (10^{10} a 10^{12} estrellas) y terminando en enormes cúmulos de Galaxias.

Los sistemas estelares más conspicuos de nuestra Galaxia son los cúmulos de estrellas. Estos se pueden clasificar, de acuerdo a sus caracteres físicos y localización dentro de la Galaxia, en dos tipos muy bien definidos; los *cúmulos abiertos o galácticos* y los *cúmulos globulares*.

Los cúmulos abiertos o galácticos son sistemas de población I (figura 1), es decir, se encuentran en o muy cerca del plano principal de la Galaxia, su metalicidad (Z/Z_0 , donde Z_0 es la metalicidad solar) se encuentra entre 0.2 y 2, mientras que su edad se encuentra entre 1×10^6 y 12×10^9 años. Los cúmulos abiertos más jóvenes tienden a seguir el patrón de los brazos espirales galácticos, ricos en nubes de hidrógeno; los de edad intermedia no se apegan tanto a este patrón; y los más viejos no muestran patrón alguno, aunque se mueven de manera similar a todos los objetos del plano galáctico. Los cúmulos abiertos típicos contienen entre 10^2 y 10^3 estrellas y tienen radios del orden de 1 a 20 pc. Se cree que deben de existir aproximadamente 10^5 cúmulos abiertos en toda la Galaxia, pero como se encuentran en regiones cercanas al plano galáctico o dentro de él, muchos aun no se descubren debido a que las nubes de gas y polvo los ocultan.

La distancia a los cúmulos abiertos se puede obtener de las paralajes fotométricas o espectroscópicas de algunos de sus miembros más brillantes. Para cúmulos cercanos, el método más usado es el de las paralajes cinemáticas, el cual se basa en el hecho de que todas las estrellas dentro de un cúmulo tienen aproximadamente la misma velocidad espacial con respecto al Sol. Debido a su cercanía al Sol, los movimientos de las estrellas reflejan los efectos de la perspectiva, de tal manera que estos parecen converger a un punto, en vez de moverse en direcciones estrictamente paralelas. Este fenómeno aparece descrito en la figura 2, la cual muestra un movimiento espacial paralelo proyectado sobre la bóveda celeste. El punto hacia el cual parecen dirigirse las estrellas recibe el nombre de punto de convergencia.

Esta característica de convergencia la presentan todos los cúmulos en movimiento, llamados también cúmulos cinemáticos.

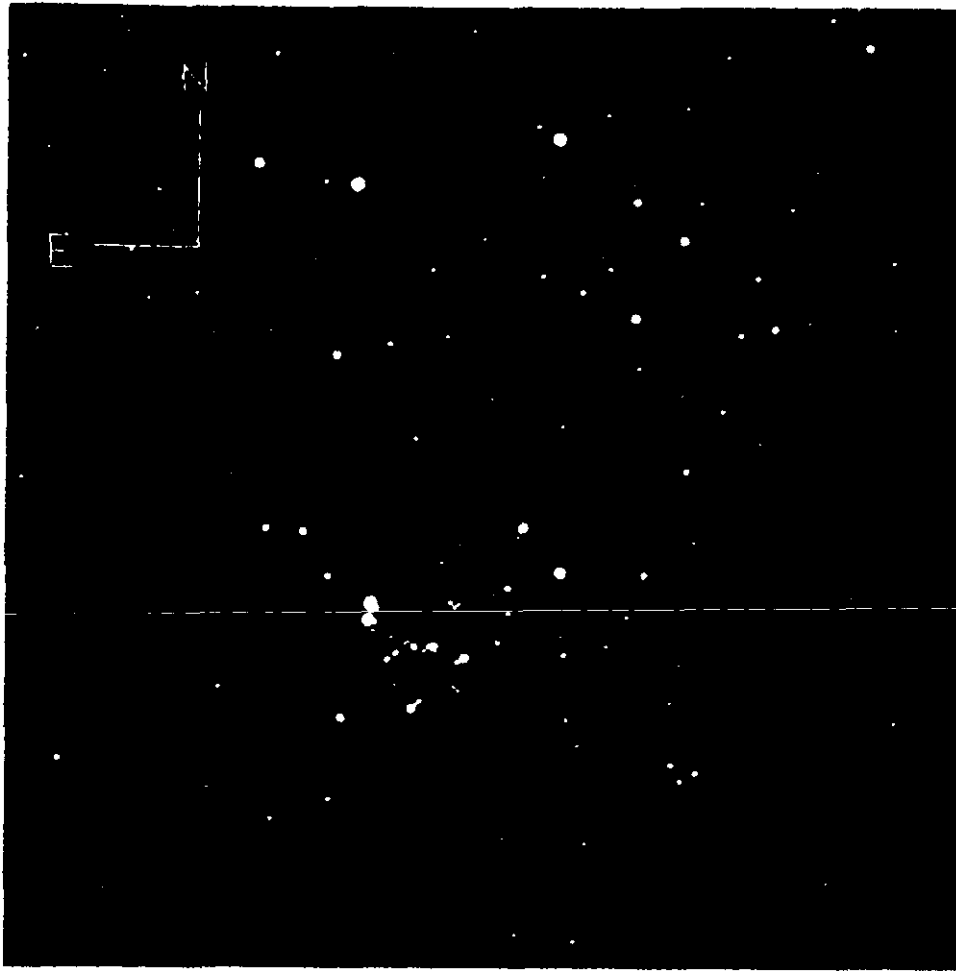


Figura 1. M16: Un típico cúmulo abierto.

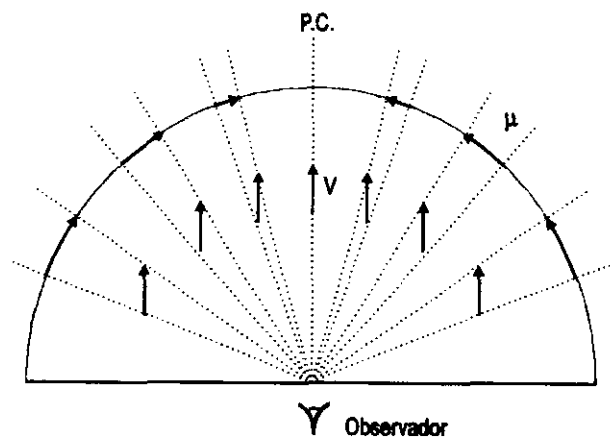


Figura 2, Proyección sobre la bóveda celeste de un movimiento espacial paralelo. En ésta gráfica puede observarse cómo los movimientos propios parecen dirigirse hacia el punto de convergencia.

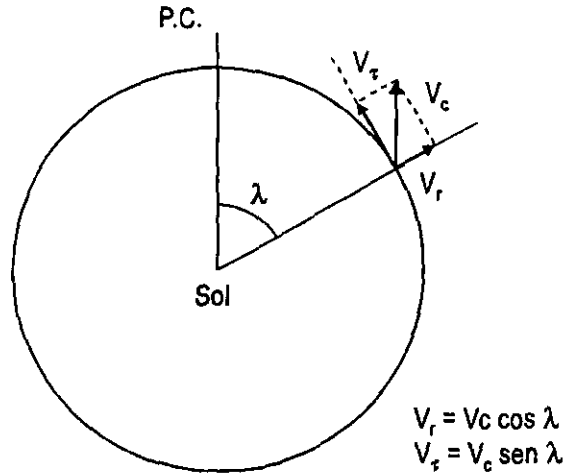


Figura 3. Velocidad radial y velocidad tangencial esperadas para una estrella perteneciente a un cúmulo, en función de la distancia angular (λ) de la estrella al punto de convergencia.

Sea λ la distancia angular de una estrella al punto de convergencia, V_c la velocidad espacial de la estrella y V_r y V_τ sus componentes radial y tangencial, respectivamente. Entonces de la figura 3,

$$V_r = V_c \cos \lambda, \quad (1)$$

$$V_\tau = V_c \sin \lambda, \quad (2)$$

La velocidad radial puede obtenerse del desplazamiento Doppler del espectro estelar. La velocidad tangencial está relacionada con el movimiento propio μ y la distancia al objeto r como sigue:

$$V_\tau = \mu r. \quad (3)$$

De lo anterior:

$$r = (V_\tau \tan \lambda) / \mu. \quad (4)$$

Por medio de este método se puede determinar la distancia de estrellas individuales utilizando el movimiento del cúmulo como un todo y por lo tanto, la distancia al cúmulo mismo.

Los cúmulos globulares son sistemas de población II (figura 4), es decir se encuentran en el halo de la Galaxia, su metalicidad (Z/Z_0) es muy baja (en promedio del orden de 0.001), su edad está entre 12×10^9 y 17×10^9 años, y contienen entre 10^4 y 10^6 estrellas. Como otros objetos de población II, los cúmulos globulares no contienen gas, polvo o estrellas jóvenes. La densidad estelar en el centro de los cúmulos globulares es mucho más alta que la densidad promedio en la mayoría de las Galaxias; un valor típico es de $10^4 M_\odot \text{pc}^{-3}$, comparado con $0.05 M_\odot \text{pc}^{-3}$ en la vecindad solar. Su distribución y movimiento son representativos del halo de nuestra Galaxia. Se conocen aproximadamente 150, aunque se piensa que deberían existir alrededor de 200. Entre ellos se encuentran algunos de los objetos más viejos de nuestra Galaxia.

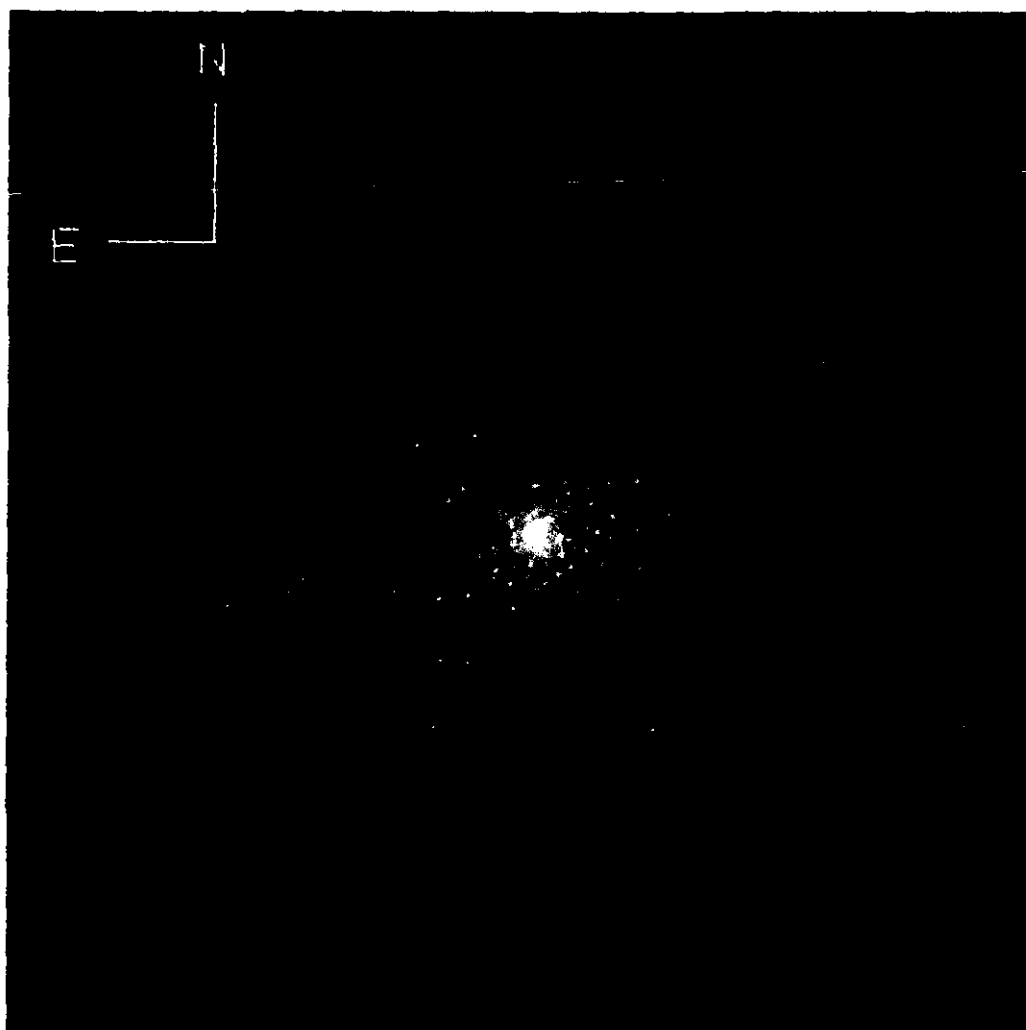


Figura 4. M15. Un típico cúmulo globular (University of Oregon CCD Images of Messier Objects)

Las propiedades más importantes de los cúmulos estelares se presentan en la figura 5, al final de la cual se muestra esquemáticamente un diagrama H-R tanto de los cúmulos abiertos como de los cúmulos globulares

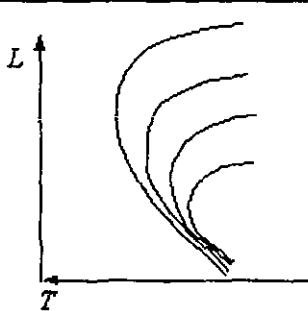
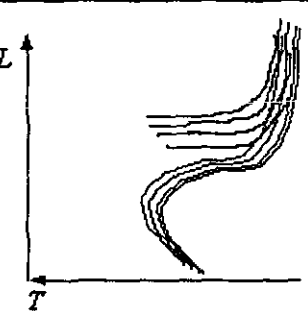
	CÚMULOS ABIERTOS O GALÁCTICOS	CÚMULOS GLOBULARES
Morfología	Conjunto disperso de estrellas.	Conjunto de estrellas con distribución esférica. Densamente poblado.
Número de miembros.	$\sim 10^3$ estrellas, más gas.	$\sim 10^5 - 10^6$ estrellas. No gas
Distribución	Restringidos al plano galáctico.	Distribución esférica alrededor del centro galáctico
Diagrama H-R	 —Todos muestran una importante secuencia principal. —Amplia variedad de puntos de salida de la secuencia principal.	 —Todos muestran pequeña secuencia principal. —El punto de salida de la secuencia principal es muy parecido.

Figura 5. Propiedades importantes de los cúmulos estelares

A continuación se presenta una breve explicación de los diagramas H-R que se encuentran en la figura anterior.

En el caso de los **cúmulos abiertos** se puede ver la secuencia principal muy bien definida, la mayoría de las estrellas caen dentro de la secuencia principal y sólo existen algunas estrellas gigantes. En cúmulos jóvenes, la secuencia principal se extiende a tipos espectrales más tempranos, es decir, tienen estrellas muy jóvenes y calientes. Usualmente uno puede ver claramente el punto del diagrama donde termina la secuencia principal y donde empieza la rama de las gigantes. Se ha demostrado que este punto está

fuertemente relacionado con la edad del cúmulo y, por lo tanto, puede ser usado para determinar la edad de los cúmulos abiertos.

En el caso de los **cúmulos globulares** la secuencia principal sólo contiene estrellas rojas muy débiles. Tienen una rama de las gigantes muy prominente y se puede ver claramente la rama horizontal. La secuencia principal es más corta que la de los cúmulos abiertos. Los cúmulos globulares representan la generación de estrellas más vieja de nuestra Galaxia. Su baja metalicidad es prueba de que la abundancia metálica primordial de la Galaxia fue muy pequeña. Esto refuerza la idea de que los elementos pesados han sido producidos por generaciones sucesivas de estrellas.

Debido a su naturaleza los cúmulos estelares son excelentes "laboratorios" de la evolución y dinámica estelar y, por lo tanto, las estrellas binarias dentro de ellos deben reflejar estas características. Una propiedad importante de los sistemas binarios de un sistema estelar y en general de una muestra de homogénea de binarias, es su distribución de separaciones. Esta refleja la historia evolutiva del sistema estelar y podría haber una relación entre la distribución de separaciones y la edad del sistema como un todo.

En los últimos años A. Poveda y colaboradores (Poveda et al. 1994-1997) han hecho un gran esfuerzo por recopilar muestras homogéneas de binarias abiertas en grupos de distintas edades, con el propósito de estudiar la evolución de su distribución de separaciones. Hasta antes del presente trabajo se contaba con cuatro muestras de estrellas con una amplia diferencia de edad; las binarias del halo, con edades de 13.5×10^9 años en promedio, las binarias y múltiples viejas de la vecindad solar, con edades de aproximadamente 7×10^9 años, las binarias y múltiples jóvenes de la vecindad solar, con edades de aproximadamente 2.5×10^9 años y las binarias del cúmulo de las Híadas, con edades alrededor de 7×10^8 años. Por lo tanto para tener un intervalo de edades completo, era necesario contar con una muestra de binarias con edad cercana a cero. El sistema estelar más accesible con la característica anterior es el cúmulo de la Nebulosa de Orión y por ello en este trabajo nos dimos a la tarea de estudiar en detalle sus características y obtener la muestra de binarias requerida. Es importante mencionar que en este trabajo no analizamos la distribución de separaciones de las binarias del halo, porque consideramos que, debido a su localización dentro de la Galaxia, las interacciones que han afectado a dicha muestra son totalmente distintas a las

que han afectado a las muestras restantes (binarias del disco) (Allen et al. 1999).

La presente investigación se divide en cinco capítulos cuya distribución queda como sigue:

En el capítulo I se presenta una recopilación de los trabajos más representativos del cúmulo de la Nebulosa de Orión; en esta parte de la investigación se pretende dar una visión clara de la estructura de la región de Orión, desde la parte interna, constituida por los Proplyds (Protoplanetary Disk)(O'Dell et al. 1994) y estrellas infrarrojas, pasando por el cúmulo del trapecio, el cúmulo de la Nebulosa de Orión y llegando hasta la gran nube molecular de Orión.

En el capítulo II se presenta un estudio de las estrellas variables de la región de Orión (Kholopov. 1985-1989) y de las estrellas H- α en emisión del catálogo de Parsamian-Chavira. Del resultado de estos análisis presentamos un catálogo de 769 estrellas con alta probabilidad de pertenecer al cúmulo de la Nebulosa de Orión. Dicho catálogo contiene información de coordenadas con alta precisión, pues fue actualizado y mejorado utilizando las placas de Palomar digitalizadas y el programa Guide (este programa cuenta con una herramienta para el cálculo de las coordenadas de objetos en imágenes digitalizadas). Además se presenta la distribución espacial de las estrellas del cúmulo de la Nebulosa de Orión y se dan los parámetros: radio del núcleo y radio de marea, obtenidos mediante una ley de densidad empírica dada por I. King en 1962.

En el capítulo III se presenta y desarrolla la teoría del vecino más cercano, la cual nos servirá para la búsqueda de sistemas binarios en el cúmulo de la Nebulosa de Orión. También se describen las simulaciones numéricas de cúmulos estelares con las características del cúmulo de la Nebulosa de Orión y se les aplica el método del vecino más cercano para encontrar herramientas que hagan más efectiva la búsqueda de estrellas binarias.

En el capítulo IV se presenta el resultado de la aplicación del método del vecino más cercano al cúmulo de la Nebulosa de Orión, así como de los criterios de selección que hacen más efectiva la búsqueda de binarias. El

resultado de lo anterior consiste en una lista de 79 pares de estrellas con alta probabilidad de ser binarias. Esto último constituye una de las aportaciones más importantes de este trabajo.

Finalmente, en el capítulo V, se presenta la distribución de separaciones de las 79 probables binarias del cúmulo de la Nebulosa de Orión y se compara con la distribución de separaciones de 3 grupos de estrellas binarias y múltiples de distintas edades (Híadas, jóvenes de la vecindad solar y viejas de la vecindad solar). De esta comparación se encuentran resultados interesantes. Por ejemplo, nos dimos cuenta de que las binarias con separaciones mayores que 10 000 Unidades Astronómicas (UA) tienden a "disolverse" durante los primeros millones de años de "vida" del grupo estelar al que pertenecen, mientras que las binarias menos separadas ($< 10\,000$ UA) logran mantenerse como tales durante casi toda la "vida" del grupo.

CAPÍTULO I

El cúmulo de la Nebulosa de Orión.

1.1 El complejo de Orión.

Localizado aproximadamente a 470 pc de la Tierra (Genzel et al. 1981, Walker. 1969), cerca del plano de nuestra Galaxia, el complejo de Orión es una fascinante región de formación estelar. En su interior podemos encontrar estrellas O y B, fuentes infrarrojas, regiones H II, máseres, y emisión molecular. Está constituido por una gran nube de hidrógeno atómico de aproximadamente 100 pc de diámetro la cual contiene alrededor de $10^5 M_{\odot}$. El gas ionizado tiene una composición química muy similar a la de nuestro sol, y los iones más abundantes incluyen H^+ , He^+ , O^+ y O^{++} . La excitación de los niveles de energía de los distintos iones producen los característicos espectros con líneas de emisión y los procesos ligado-libre y libre-libre producen la emisión continua.

En la figura 6 podemos observar la constelación de Orión en donde se encuentra todo el complejo de Orión. La estrella Betelgeuse se localiza ligeramente a la izquierda y arriba del centro de la imagen (la estrella más roja) y Rigel se localiza cerca de la esquina inferior derecha (la estrella más azul). La nebulosa brillante (nube A) en la "espada" de Orión y bajo el cinturón de estrellas, es la gran nebulosa M42 - M43. En el extremo izquierdo del cinturón se encuentra la nube B, dentro de la cual está la nebulosa Cabeza de Caballo y algunas estrellas brillantes como Zeta Orionis. Alrededor de estas regiones (nubes A y B) se encuentra un arco delgado y brillante llamado "Barnard's Loop". En la parte superior de la imagen se encuentra una nebulosa alrededor de la estrella λ Ori la cual no es parte del complejo de Orión.



Figura 6. Imagen en el óptico de la constelación de Orión tomada por S. Kohle y T. Credner, del Observatorio Calar Alto.

1.2 Las nubes moleculares A y B de la región de Orión.

Dentro del extenso complejo de Orión se encuentran localizadas dos nubes moleculares, dentro de las cuales hay múltiples sitios de formación estelar muy activa y reciente (figura 7) - La nube A que se encuentra al suroeste (abajo) del complejo y ocupa alrededor de 29 grados² y la nube B que cubre aproximadamente 19 grados². Del estudio de la emisión de CO en el complejo de Orión se ha detectado que existe una conexión espacial entre ambas nubes (Maddalena et al. 1986).

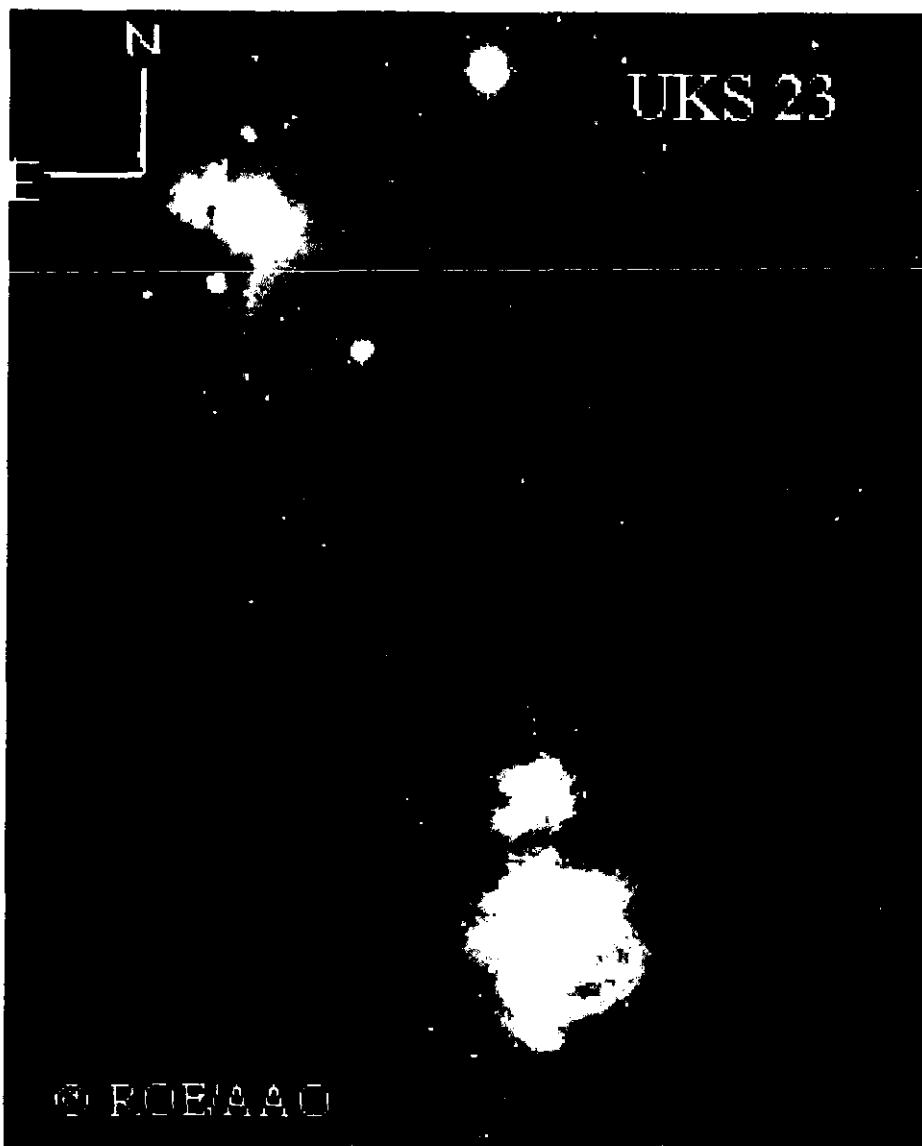


Figura 7. Imagen en el óptico de las nubes moleculares A y B tomada por S. Kohle y T. Credne del Observatorio Calar Alto.

1.3 El cúmulo de la Nebulosa de Orión.

Embebida en la nube A está la región H II comúnmente llamada Nebulosa de Orión ($M42 + M43 = \text{NGC } 1976$), la cual es excitada, principalmente, por la estrella $\theta^1 \text{ C Ori}$ (figura 8). En el centro del cúmulo de la Nebulosa de Orión (a partir de aquí le llamaremos CNO) se encuentra el famoso Trapecio de Orión, formado por estrellas muy masivas y con vientos estelares muy intensos, los cuales parecen haber evacuado una cavidad que se extiende fuera de la nube molecular en nuestra dirección, permitiéndonos ver, con muy poca extinción ($A_V < 2.5 \text{ mag}$), las estrellas de baja masa de la región (Hillenbrand 1997). La gran densidad columnar del material molecular detrás de CNO ($A_V > 80 \text{ mag}$) nos hace pensar que la contaminación de fondo, como estrellas de campo u otros objetos, es despreciable (Hillenbrand 1997). Por ejemplo, un mapeo de los movimientos propios en el CNO hecho por Jones y Walker (1988), mostró que aproximadamente 90% de las estrellas con $I \leq 17 \text{ mag}$ y dentro de un radio proyectado de $20'$ de arco con centro en el trapecio, son miembros del cúmulo, de manera que la contaminación de fondo es relativamente baja.

En este trabajo consideraremos tres zonas importantes con centro en $\theta^1 \text{ C Ori}$, siguiendo literatura previa (Herbig and Terndrup 1986). Estas zonas son (1) La región de los discos protoplanetarios (Protoplanetary Disk o Proplyds) que cubre 0.1 pc de radio (40 segundos de arco); (2) El cúmulo del trapecio (TC) que cubre los 0.3 pc de radio internos (aproximadamente 2 minutos de arco); y el Cúmulo de la nebulosa de Orión (CNO) que cubre aproximadamente 25 pc de radio (3 grados). En algunos trabajos como el de Hillenbrand (1997) consideran tres zonas radiales dentro de la misma región: el trapecio, el cual es idéntico al considerado en este trabajo, el CNO que solamente ocupa 3 pc de radio y la asociación Ic que es idéntica al CNO que consideramos aquí. Históricamente, estas designaciones están basadas en una impresión visual de la morfología del cúmulo en longitudes de onda del óptico y, por lo tanto, han sido hasta cierto, punto arbitrarias.



Figura 8. Imagen de la nebulosa M42-M43 tomada por D. Malin del Observatorio Anglo-Australiano

1.4 El cúmulo del Trapecio de Orión.

El cúmulo del trapecio de Orión está localizado justo en el centro del cúmulo de la Nebulosa de Orión y está constituido por las estrellas brillantes que forman el trapecio, así como por muchas estrellas débiles que se encuentran dentro de la nebulosa brillante. Este es probablemente el cúmulo abierto más joven y denso de la vecindad solar (McCaughrean y Stauffer 1994). Del diagrama HR de sus estrellas se pueden inferir edades que escasamente rebasan el millón de años (Prosser. 1994), la gran mayoría de ellas parecen ser mucho más jóvenes. Algunos autores argumentan que el cúmulo del trapecio está físicamente relacionado con el CNO y que es parte importante de su núcleo (Hillenbrand 1997).

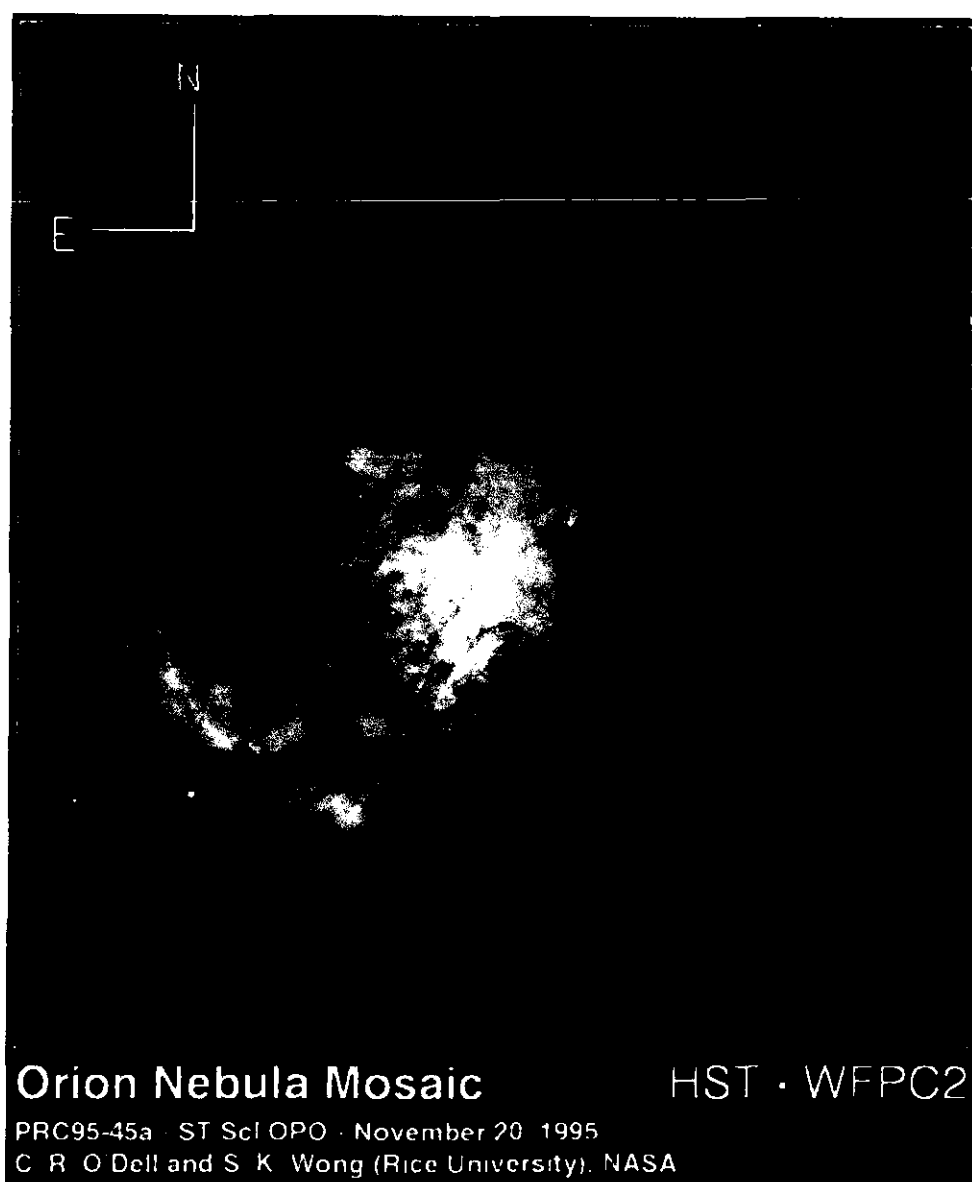


Figura 9. Mosaico de la parte interna de la nebulosa de Orión. Imágenes del telescopio espacial Hubble.

1.5 Los Proplyds de la región interna del CNO.

Las imágenes del Telescopio Espacial Hubble han revelado que alrededor de la mitad de las estrellas del cúmulo del trapecio más brillantes que $V=21$ están embebidas en pequeñas nebulosas circumestelares, las cuales, en algunos casos, tienen la forma de discos (O'Dell y Wen. 1994). Observaciones posteriores (O'Dell y Wong. 1996, McCaughrean y Stauffer. 1994) han confirmado la hipótesis de que tales objetos son estrellas de baja masa en contracción y en camino a la secuencia principal. El término proplyd (Proto-planetary disk) se usa para nombrar a este tipo de objetos. Muchos de los Proplyds brillantes muestran una morfología cometaria, en donde la cauda está en dirección contraria a θ^1 C Ori. La explicación obvia para la forma de estos objetos es que la radiación y el viento estelar de θ^1 C Ori están interactuando con el material que rodea a la estrella.

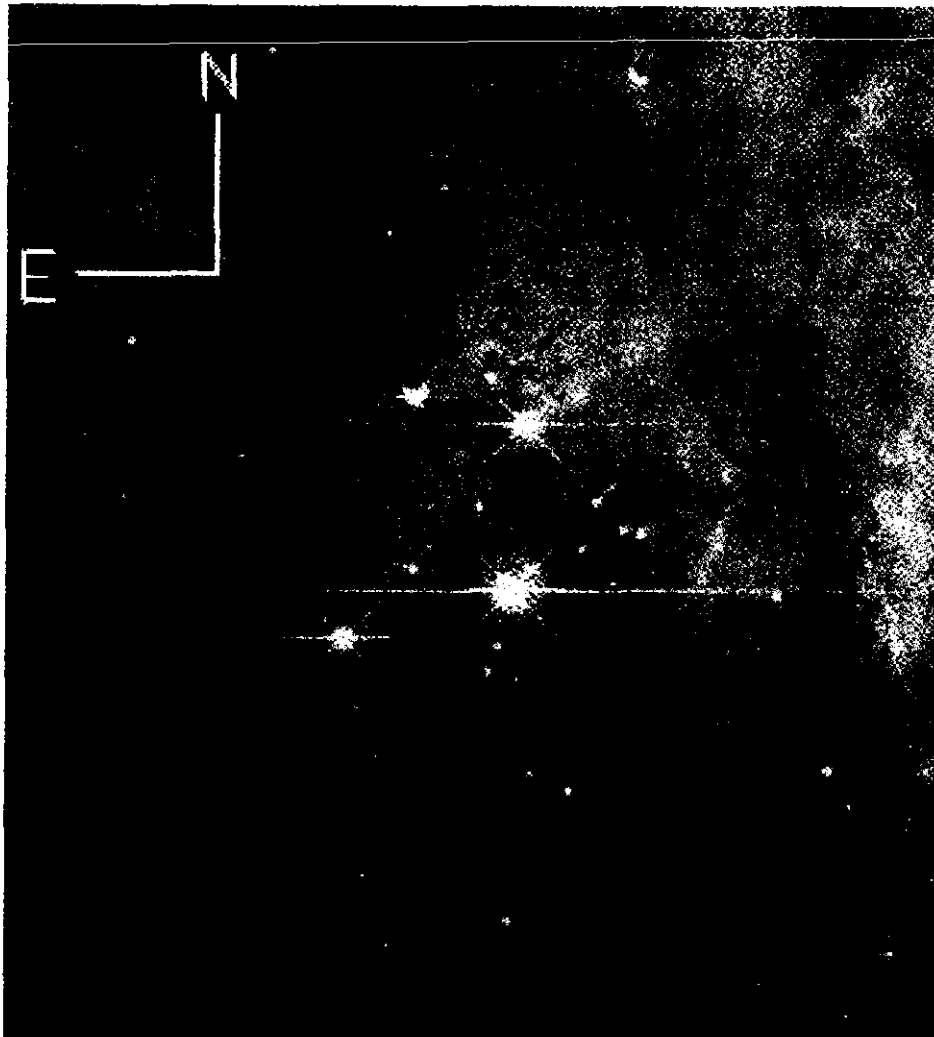


Figura 10. Mosaico de imágenes de la región de los Proplyds, tomadas por el Hubble.

Debido a su relativa proximidad a la Tierra, el cúmulo de la Nebulosa de Orión es un excelente "laboratorio" para el estudio de la formación estelar y la interacción entre las estrellas jóvenes y el gas interestelar, así como para el estudio de estrellas binarias y múltiples jóvenes. Esto ha provocado que muchos autores hayan dedicado tiempo y esfuerzo para establecer muestras de estrellas representativas del CNO.

A continuación presentaremos un resumen de trabajos importantes, realizados a lo largo del tiempo por diversos autores, en torno al cúmulo de la nebulosa de Orión.

1.6 Trabajos realizados sobre el CNO a lo largo del tiempo.

1.6.1 El trabajo de Trumpler.

En 1931 R. J. Trumpler del Observatorio de Lick de la Universidad de California, utilizando una combinación de filtro-emulsión fotográfica que le permitió abatir el brillo de la nebulosa (la combinación filtro-emulsión le permitió detectar luz en el intervalo 7000-7600 Å), descubrió un gran número de estrellas alrededor del Trapecio (Trumpler 1931). De hecho, estas observaciones de Trumpler son el primer intento de fotografiar las estrellas débiles de la región central de la Nebulosa de Orión. Trumpler encontró que, dentro de un radio de dos minutos alrededor de la estrella θ^1 C Ori, existen 62 estrellas (magnitud límite de 15) y que incluso hay estrellas adicionales fuera de este radio, extendiéndose hasta 11 minutos. También observó los espectros de algunas de estas estrellas y determinó sus colores y brillos aparentes, de donde pudo obtener la distancia a la región de la nebulosa utilizando el diagrama H-R de sus estrellas.

1.6.2 El trabajo de Baade y Minkowsky.

Seis años después del trabajo de Trumpler, los astrónomos W. Baade y R. Minkowsky del Observatorio de Mount Wilson, California, interesados en el estudio del espectro de la Nebulosa

de Orión, tomaron fotografías de la región del Trapecio, con placas sensibles al infrarrojo (7000-9000 Å) y a través de filtros apropiados, no solo para eliminar las líneas brillantes de la nebulosa, sino además para registrar las estrellas muy débiles que se encuentran embebidas en la región de la nebulosa (Baade y Minkowsky 1937). Esto es, la combinación de emulsión y filtro escogida por los astrónomos de Mount Wilson permitió optimizar la observación de estrellas en la región del infrarrojo cercano. De esta manera Baade y Minkowsky encuentran que dentro de un radio de 2.3 minutos alrededor de θ^1 C Ori existen aproximadamente 130 estrellas (magnitud límite de 15). Si embargo, no se tiene muy claro por qué la estimación del radio de este cúmulo en las placas de Mount Wilson resulta ser bastante más pequeña de lo que Trumpler había encontrado.

1.6.3 El trabajo de Haro.

El siguiente paso en la búsqueda del tamaño y número de estrellas pertenecientes al cúmulo de la nebulosa de Orión lo dio G. Haro del Observatorio de Tonantzintla (Haro 1953). El se dio a la tarea de observar las estrellas de la región de la Nebulosa de Orión con el objetivo de detectar la existencia de estrellas con líneas de emisión en su espectro, principalmente la línea $H\alpha$ del hidrógeno, esto es, la línea roja que produce el átomo de hidrógeno en regiones nebulares calientes, o bien en las atmósferas de las estrellas cuando éstas están sometidas a la excitación de un proceso no térmico, de tipo cromosférico.

Hacia finales de los años 40 y a principios de los 50 se tenía la idea de que la interacción de las estrellas con el gas y el polvo de su entorno podría producir algunos efectos extraños en su espectro y en la variabilidad de su luz. Por otro lado, también se empezaba a reconocer que las estrellas recién formadas se caracterizaban por tener, además de un espectro continuo, fuertes líneas de emisión de hidrógeno y oxígeno ionizado. Haro se dedicó a tomar los espectros de las estrellas en la región de la Nebulosa de Orión y logró así descubrir 255 estrellas con emisión en $H\alpha$ distribuidas concéntricamente con el Trapecio y

Titulo de la tesis: EL MUNDO DE LA FOLIA EN LA LINGÜÍSTICA

Grado y nombre del autor o director de tesis: Geoffrey P. Rodin y Rodalde

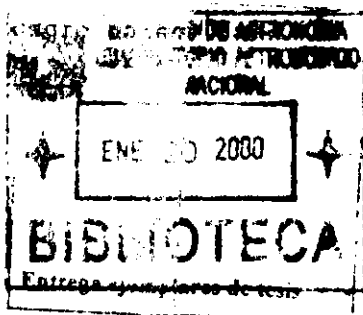
Institución de adscripción del tutor o director/a: CEA - ASISTENTE SOCIAL

Resumen de la tesis: (Favor de escribir en este espacio el resumen de la tesis, no como máximo en 25 palabras, sino saliendo de la extensión de este cuadro)

[illegible][illegible]

Fecha de solicitud: 08/01/04

1. Forma del documento



Bibliotheca Universalis

cuya extensión llega por lo menos hasta distancias de un grado del mismo.

1.6.4 El trabajo de Pishmish.

El siguiente paso en el conocimiento de este enjambre estelar lo da P. Pishmish (Pishmish 1954) del Instituto de Astronomía de la UNAM, aprovechando las placas infrarrojas tomadas por Haro. Pishmish encuentra aproximadamente 430 estrellas dentro de un radio de 15 minutos alrededor de θ^1 C Ori. A partir de su trabajo A. Poveda y colaboradores (Poveda et al. 1991b) encuentran que podría haber 2000 estrellas dentro de un radio de 30 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

1.6.5 El trabajo de Parsamian y Chavira.

En 1982 E. Parsamian y E. Chavira del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) presentan un catálogo de 535 estrellas con emisión en H α de la región de la Nebulosa de Orión y distribuidas en un radio de aproximadamente 2.5° con centro en θ^1 C Ori (Parsamian y Chavira. 1982). Este trabajo es uno de los más importantes en cuanto a la distribución espacial de las estrellas del CNO. Debido a esto, en el capítulo II, sección 2.3, se hace un análisis más detallado del mismo.

1.6.6 El trabajo de Herbig y Terndrup.

Durante varios años, la población estelar en la parte interna del CNO no fue reexaminada. Debido a esto, G. H. Herbig y D. M. Terndrup (1986) retomaron el estudio de la región. En su trabajo usaron imágenes CCD en el rojo (filtro I_c $\lambda = 7975\text{\AA}$ $\Delta\lambda = 100\text{\AA}$) dentro de una región de 9.1 min^2 . El producto de este trabajo fue un catálogo de 142 estrellas distribuidas en un radio de aproximadamente 1.5 minutos alrededor de θ^1 C Ori. También calcularon la densidad volumétrica de la región y encontraron 2200 estrellas/ pc^3 , lo que hace del CNO la región de formación estelar más densa y cercana hasta ahora conocida. Herbig y

Terndrup también compararon la distribución de magnitudes en el óptico con la correspondiente en el infrarrojo, para concluir que la alta densidad estelar en la parte interna del CNO no es producto de la contaminación por estrellas localizadas en la nube molecular que se encuentra detrás del cúmulo.

1.6.7 El trabajo de Hillenbrand y Hartman.

Finalmente Hillenbrand y Hartman (1998) consideran dos muestras (óptica e infrarroja) que se extienden sobre aproximadamente 15 minutos (2.5 pc) de radio a partir de θ^1 C Ori (Cúmulo del Trapecio). Tales muestras son una recopilación de estrellas observadas y catalogadas previamente en la literatura. Los catálogos considerados son:

Banda I (infrarrojo cercano):

Catálogo de 1053 estrellas de Jones y Walker (1988) localizadas en un radio de aproximadamente 13 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

Catálogo de 319 estrellas de Prosser y colaboradores localizadas en un radio de aproximadamente 1.7 minutos alrededor de θ^1 C Ori (Prosser et al. 1994).

Catálogo de 120 estrellas de O'Dell y Wong (1996) localizadas en un radio de aproximadamente 3.5 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

Catálogo de 350 estrellas de Hillenbrand (1997) localizadas en un radio de aproximadamente 15 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

Banda K (infrarrojo):

Catálogo de 500 estrellas de McCaughrean (1987) localizadas en un radio de aproximadamente 2.5 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

Catálogo de 123 estrellas de McCaughrean y Stauffer (1994) localizadas en un radio de aproximadamente 2.5 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

Catálogo de 3548 estrellas de Ali y De Poy (1995) localizadas en un radio de aproximadamente 19 minutos alrededor de θ^1 C Ori.

La muestra óptica está constituida por 1578 estrellas tomadas de los catálogos de la banda I descritos anteriormente y exhaustivamente discutidos por Hillenbrand (1997). La muestra infrarroja está constituida por 1997 estrellas tomadas de los catálogos de la banda K descritos anteriormente.

Hillenbrand y Hartman (1998) argumentan que la suma de las muestras óptica e infrarroja provee una muestra, representativa y no contaminada, de la población interna del CNO. Utilizando lo anterior y basándose en la comparación de las muestras ópticas e infrarrojas con modelos de cúmulos en equilibrio virial, demuestran que el cúmulo del trapecio no es más que el núcleo del CNO.

Como podemos ver de los datos anteriores, existe una amplia variedad de muestras de estrellas, pero en general están restringidas a la región interna del CNO (El trapecio de Orión). A nosotros en particular nos interesan muestras que incluyan en toda su extensión al CNO. Por lo tanto, en el siguiente capítulo trataremos de obtener, con nuestros propios métodos (los

cuales serán explicados en el capítulo II), una muestra de estrellas representativa del cúmulo de la nebulosa de Orión.

En el apéndice B se presenta una tabla con los datos más importantes de los trabajos realizados sobre el CNO descritos anteriormente.

CAPÍTULO II

Las estrellas variables y las estrellas $H\alpha$ en emisión de la región de Orión.

En el capítulo anterior tratamos de obtener una visión clara de las distintas componentes del complejo de Orión y nos concentramos especialmente en la nube molecular A, que es la región donde se encuentra el cúmulo de la Nebulosa de Orión. También hicimos una recopilación de los principales trabajos que se han realizado en torno al CNO y nos dimos cuenta de que en general tales estudios sólo se centran en la parte interna del cúmulo. Por lo tanto, para obtener una muestra de todo el CNO era necesario considerar alguna otra alternativa. A continuación presentamos la muestra de estrellas variables de Kholopov, que constituye la alternativa más viable para lograr nuestros propósitos.

2.1 Las estrellas variables de Kholopov.

La cuarta edición del catálogo de estrellas variables de Kholopov (Kholopov et al. 1985-1988) contiene datos de 28484 objetos, principalmente estrellas variables de nuestra Galaxia, distribuidas en toda la bóveda celeste. Las estrellas están ordenadas de acuerdo a la constelación a la que pertenecen. Para cada estrella se da información de coordenadas ecuatoriales (época 1950. La precisión para la ascensión recta está dada en segundos de tiempo y para la declinación está dada en décimos de minutos de arco). También se da la precesión anual, el tipo de variabilidad, las magnitudes en el mínimo y máximo de variabilidad, el periodo de variabilidad y el espectro (no en todos los casos).

2.2 Estrellas variables candidatas a miembros del CNO.

Es ampliamente conocido que la variabilidad es una característica importante de juventud en las estrellas (Haro 1953, Poveda 1991b). Debido a esta propiedad y a que el catálogo de estrellas variables de Kholopov contiene objetos de toda la bóveda celeste, y puesto que el CNO

es relativamente joven (Prosser et al. 1994, Hillenbrand 1997), nos propusimos identificar las estrellas variables tipo Orión (estrellas en proceso de formación que pueden cambiar su brillo muy rápidamente. Por ejemplo FU Orionis) que se encuentran en la región de Orión, para obtener una muestra representativa de las distintas poblaciones que se encuentran ahí. En particular, podríamos trazar a gran escala el cúmulo de la Nebulosa de Orión. Para lograr nuestro objetivo, hicimos lo siguiente:

Seleccionamos las estrellas variables tipo Orión

De las estrellas variables tipo Orión sólo tomamos las que se encuentran en la nebulosa de Orión y alrededores (nube molecular A).

Al hacer el análisis anterior encontramos que existen 763 estrellas con tales características. De acuerdo con estudios de la región de la Nebulosa de Orión y de la nube molecular L1640 que se encuentra detrás de ella, hechos por Jones y Walker (1988) y por Hillenbrand (1997), donde demuestran que debido a la gran densidad columnar de la nube molecular L1640 la contaminación de estrellas de campo es muy baja (del orden de 10%), estas 763 estrellas tienen alta probabilidad de pertenecer al cúmulo de la Nebulosa de Orión.

2.3 Las estrellas con $H\alpha$ en emisión de la región de Orión de Parsamian - Chavira.

Nuestro objetivo fundamental es encontrar una muestra representativa del cúmulo de la Nebulosa de Orión y sabemos que si consideramos solamente las estrellas que tienen una marcada variabilidad estaríamos dejando fuera estrellas que también pertenecen al cúmulo, pero cuya variabilidad no se ha detectado o que no han sido observadas. Por lo tanto, fue necesario considerar otras muestras de estrellas en esa región y que también tuvieran alguna característica de juventud. Como vimos en el capítulo I, sección 1.7.5, Parsamian y Chavira (1982) compilaron un catálogo de estrellas de la Nebulosa de Orión cuya característica principal consiste en tener líneas de emisión $H\alpha$ en su espectro; otro importante rasgo de juventud (Haro 1953, Poveda 1991b). Este catálogo fue el resultado de una exhaustiva búsqueda de estrellas con $H\alpha$ en emisión. En él se presenta una lista de 534 estrellas, con la característica espectral antes descrita, que abarcan un área de $5^\circ \times 5^\circ$ con centro en el trapecio de Orión (radio aproximado de 2.5° alrededor de θ^1 C Ori). Las estrellas tienen

información de: nombre del GCVS (Catálogo General de Estrellas Variables de Kholopov), número de Parenago (Parenago. 1954), coordenadas en la época 1900 (la precisión en la ascensión recta es de 1.5 min. de arco y en la declinación, de 6 seg. de arco), magnitud fotográfica máxima y mínima, tipo de variabilidad de acuerdo al GCVS, tipo espectral, si es conocido, y la intensidad de $H\alpha$ usando la escala de Haro (Haro 1953). También se presentan imágenes de las placas fotográficas en las que se identifica a cada una de las estrellas.

En la lista de estrellas con $H\alpha$ en emisión encontramos que existen 219 estrellas que también están en la lista de estrellas variables de Kholopov de la región de Orión, es decir existen 219 estrellas en la intersección de los dos conjuntos mencionados.

2.4 La precisión de coordenadas de las estrellas variables de Kholopov y Parsamian-Chavira.

Como puede verse de los datos dados anteriormente, tanto las estrellas variables de la región de Orión como las estrellas $H\alpha$ en emisión de Parsamian y Chavira tienen una seria deficiencia en cuanto a la precisión de sus coordenadas. Un error de 6 seg. arco a la distancia de Orión (470 pc) (Genzel et al 1981) da una incertidumbre de 2820 UA. Lo anterior representa un gran problema, pues para uno de nuestros propósitos, que es buscar estrellas binarias mediante el método del vecino más cercano, la precisión de coordenadas es fundamental. Por lo tanto recurrimos al programa Guide y a las placas de Palomar digitalizadas, con el objetivo de mejorar la precisión en las coordenadas. El programa Guide contiene entre otras cosas una gran cantidad de catálogos de estrellas. Entre los más importantes está el HIPPARCOS, el cual tiene precisiones del orden de milisegundos de arco, el TYCHO, con precisiones también del orden de milisegundos de arco, el catálogo de estrellas cercanas Gliese, el Bright Star Catalogue, etc. Este programa posee la capacidad de dibujar las estrellas y los objetos en la bóveda celeste, así como de manejar imágenes reales de la bóveda celeste (por ejemplo, las placas de Palomar digitalizadas) y sobreponerlas a las imágenes obtenidas de las posiciones de los catálogos que contiene. Las coordenadas de un objeto de una imagen real se pueden obtener "a ojo" poniendo el cursor en el centro del objeto, y la precisión dependerá de la habilidad del ojo del sujeto. Para calcular la precisión de las coordenadas así obtenidas, comparamos las coordenadas de 15 estrellas brillantes obtenidas a ojo con las coordenadas

de esas mismas estrellas dadas por el catálogo TYCHO. El experimento lo hicieron tres personas distintas y los resultados promediados fueron los siguientes:

$$\langle \Delta\alpha \rangle = 0.052s = 0.78'' \quad \langle \Delta\delta \rangle = 0.14''$$

donde α es la ascensión recta y δ la declinación. A la distancia de Orión (~ 470 pc) estos errores se traducen a:

$$\langle \Delta\alpha \rangle = 367 \text{ UA} \quad \langle \Delta\delta \rangle = 66 \text{ UA}$$

Otro problema importante a considerar para la mejora de las coordenadas de las dos muestras de estrellas que tenemos, es que las estrellas de Parsamian y Chavira que no tenían nombre de estrella variable, solamente se podían localizar mediante la comparación de las imágenes de las placas de Palomar con las imágenes dadas por ellos mismos en su artículo. Pero como el tiempo de exposición de las placas de Palomar es mayor, existen lugares en donde hay estrellas Parsamian-Chavira o estrellas variables, pero es imposible distinguirlas debido a que la placa está totalmente quemada. En los casos anteriores no pudimos mejorar las coordenadas, y tuvimos que prescindir de estas estrellas. Finalmente, de las 763 estrellas variables de Kholopov, sólo pudimos mejorar las coordenadas de 529 y en el caso de las estrellas de Parsamian-Chavira sólo mejoramos las coordenadas de 430. La intersección de las dos muestras anteriores es de 190 estrellas. Por lo tanto la muestra del cúmulo de la Nebulosa de Orión, con coordenadas mejoradas, está constituida por 769 estrellas. Es importante mencionar que la mayoría de las estrellas a las que no fue posible mejorarles las coordenadas se encuentran en la parte central del cúmulo. Por lo tanto, esto será considerado cuando se hagan ajustes a los perfiles de densidad superficial, lo cual es el tema de otro apartado. El catálogo de estrellas del cúmulo de la Nebulosa de Orión se puede encontrar en el Apéndice A.

2.5 Distribución espacial proyectada de las estrellas del CNO.

A continuación se presenta una gráfica de Ascensión Recta vs. Declinación para 769 estrellas que probablemente pertenecen al cúmulo de la Nebulosa de Orión. En ella puede verse la distribución de las estrellas tal como se verían en la bóveda celeste. Se puede distinguir claramente un hueco en el centro de la distribución (la región del trapecio), que es donde las placas de Palomar están quemadas y no fue posible obtener las coordenadas de las estrellas.

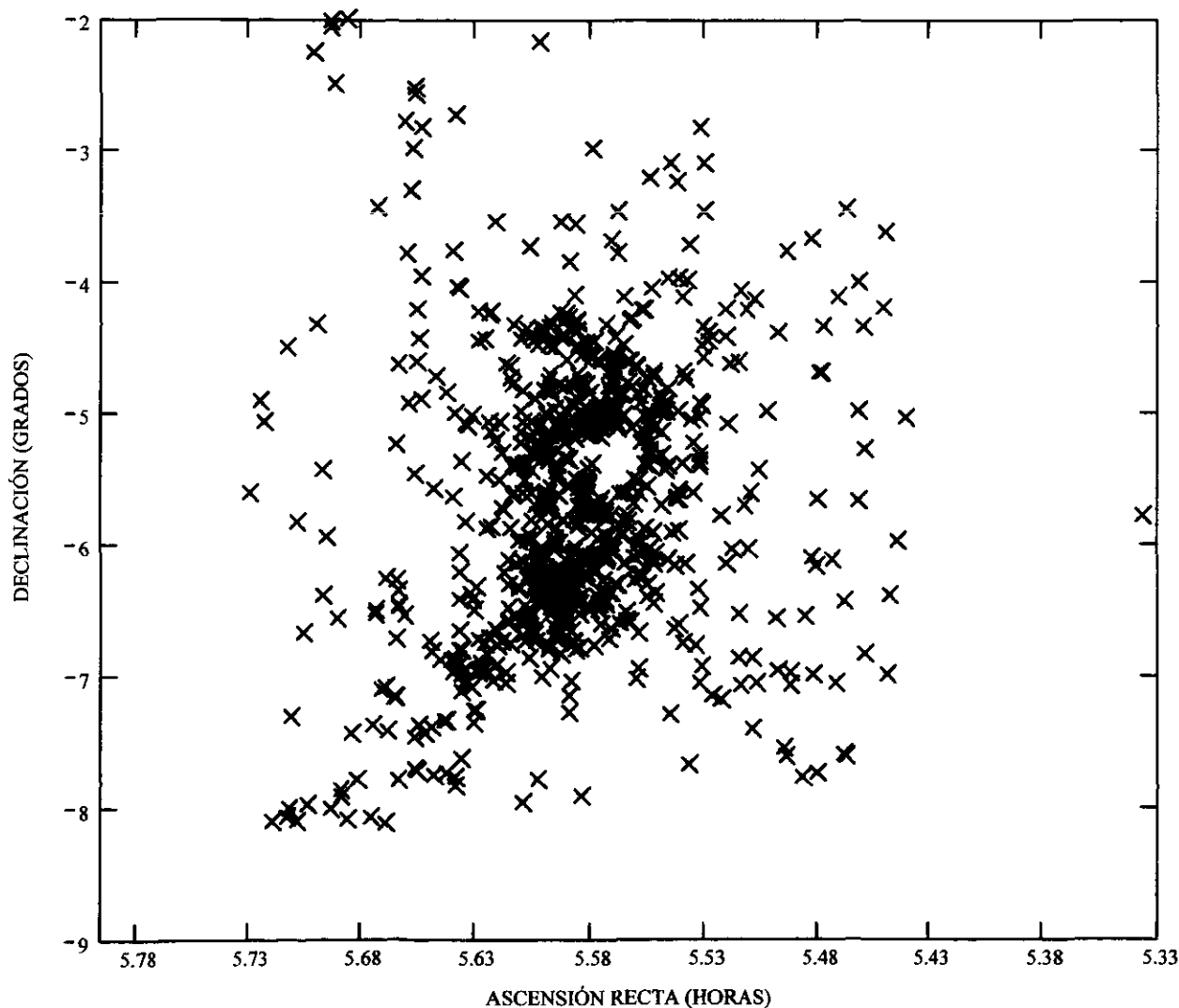


Figura 11. 769 Estrellas que probablemente pertenecen al CNO. Ascensión Recta (Horas) vs. Declinación (grados).

2.6 La estructura del CNO.

Será de gran ayuda para los cálculos que se describen en el siguiente capítulo una expresión analítica de la densidad estelar proyectada de un cúmulo como función del radio (r). Para ello analicemos una expresión empírica para la densidad, obtenida por Ivan King en 1962 (King 1962). De acuerdo a este autor, el radio de un cúmulo está limitado por la fuerza de marea galáctica en su órbita circular alrededor de la Galaxia. Él encuentra para este radio límite la siguiente expresión:

$$r_t = \left(\frac{GM_c}{4\omega A} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (5)$$

donde r_t es el radio límite o de marea, G la constante gravitacional, M_c es la masa del cúmulo en masas solares, ω es la velocidad angular del cúmulo alrededor del centro galáctico y A es la primera constante de Oort ($A = 14 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}$). Para la vecindad solar esto se reduce a

$$r_t = (1.275 M_c)^{\frac{1}{3}} \text{ pc}. \quad (6)$$

Luego, King analiza la distribución de densidad proyectada $F(r)$ en varios cúmulos globulares (M15, ω Cen, 47 Tuc, M13) y encuentra que ésta se puede representar por una simple ley de potencia, de la siguiente manera:

$$F(r) = f \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_t} \right)^2, \quad (7)$$

donde f es una constante y r_t es el valor de r en el cual $F(r)$ se hace cero. Sin embargo, en el centro de un cúmulo la ecuación 7 es completamente inadecuada, pues predice una densidad infinita. Aquí, con un breve análisis de los datos hasta ese momento disponibles, encuentra que la región central puede ser representada por la ecuación:

$$F = \left[\frac{f_o}{1 + \left(\frac{r}{r_c}\right)^2} \right]^2, \quad (8)$$

donde f_o es la densidad superficial en el centro y r_c es un factor de escala llamado radio del núcleo.

De lo anterior, King se da cuenta de que es necesario tener una expresión que represente en buena manera tanto la región central de un cúmulo como las regiones más externas, es decir, que tenga las características de las ecuaciones 7 y 8. La expresión que cumple tales requerimientos se denomina *Fórmula de King* y está dada por:

$$F = K \left[\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{r}{r_c}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{r_t}{r_c}\right)^2\right)^{\frac{1}{2}}} \right]^2, \quad (9)$$

donde K es una constante a determinar, r es la distancia de cualquier estrella al centro del cúmulo y r_c y r_t son, como habíamos definido anteriormente, el radio del núcleo y el radio de marea respectivamente.

Otra expresión que será de mucha utilidad en los siguientes capítulos es aquella que da el número total de estrellas en función de la distancia r al centro del cúmulo. Esta función se puede obtener integrando la expresión 9 con respecto a $2\pi r dr$. El resultado es el siguiente:

$$N(x) = \pi r_c^2 K \left[\ln(1+x) - 4 \left(\frac{(1+x)^{\frac{1}{2}} - 1}{(1+x)^{\frac{1}{2}}} \right) + \frac{x}{1+x_t} \right], \quad (10)$$

donde

$$x = (r/r_c)^2,$$

$$x_t = (r_t/r_c)^2$$

Para describir al cúmulo de la Nebulosa de Orión con la fórmula de King se hizo lo siguiente:

Primero, tomamos el centro del cúmulo de la Nebulosa de Orión en el punto $5^{\text{h}} 35^{\text{m}} 16.45^{\text{s}}$ de ascensión recta y $-5^{\circ} 23' 23.07''$ de declinación (época 2000) (Herbig y Terndrup 1986) y dibujamos círculos concéntricos correspondientes a 0.1, 0.2, 0.3, ... , 5.9 grados de distancia a este punto. En seguida contamos cuántas estrellas caían dentro de cada uno de los anillos que se forman con los diferentes radios, y encontramos la densidad de estrellas para cada anillo. La densidad de estrellas de cada anillo se obtiene con la siguiente fórmula;

$$F = \frac{n}{A} \quad (11)$$

donde n es el número de estrellas en el anillo comprendido entre r y $r+\Delta r$ ($\Delta r = 0.1$ grados) y A es el área de ese mismo anillo. Del análisis anterior obtuvimos los siguientes resultados:

DISTANCIA (GRADOS)	NÚMERO DE ESTRELLAS ACUMULADO	NÚMERO DE ESTRELLAS POR ANILLOS	DENSIDAD POR ANILLOS (#EST./GRADOS ²)
0.1	3	3	95.5
0.2	19	16	169.8
0.3	46	27	171.9
0.4	108	62	281.9
0.5	170	62	219.3
0.6	204	34	98.4
0.7	262	58	142.0
0.8	305	43	91.2
0.9	356	51	95.5
1.0	404	48	80.4
1.1	446	42	63.7

DISTANCIA (GRADOS)	NÚMERO DE ESTRELLAS ACUMULADO	NÚMERO DE ESTRELLAS POR ANILLOS	DENSIDAD POR ANILLOS (#EST./GRADOS ²)
1.3	517	33	42.0
1.4	543	26	30.7
1.5	558	15	16.5
1.6	578	20	20.5
1.7	603	25	24.1
1.8	625	22	20.0
1.9	642	17	14.6
2.0	655	13	10.6
2.1	664	9	6.9
2.2	682	18	13.3
2.3	692	10	7.1
2.4	703	11	7.4
2.5	708	5	3.2
2.7	725	17	5.2
2.9	734	9	2.6
3.2	744	10	1.7
3.5	750	6	0.9
3.8	755	5	0.7
4.3	759	4	0.3
4.8	766	7	0.5
5.3	768	2	0.1
5.9	769	1	0.5

Tabla I. Datos de la variación del número de estrellas y de la densidad estelar proyectada como función de la distancia al centro del CNO. La primera columna muestra la distancia al centro en grados, la segunda columna muestra el número de estrellas acumulado, la tercera columna muestra el número de estrellas por anillos y la cuarta columna muestra la densidad por anillos (número de estrellas por grado cuadrado).

Luego, ajustamos las constantes K , r_t y r_c por el método de mínimos cuadrados para obtener la mejor representación de la densidad de estrellas con la fórmula de King. La figura 12 muestra el resultado de este ajuste. En ella, se presenta una gráfica de $\log(F)$ vs $\log(r)$, donde F es la densidad superficial de estrellas y r es la separación con respecto al centro (separación proyectada), para las 769 estrellas del CNO. Los cuadros muestran los datos experimentales y la curva continua es el ajuste de la fórmula de King hecho por mínimos cuadrados. El coeficiente de correlación de este ajuste es de 0.94.

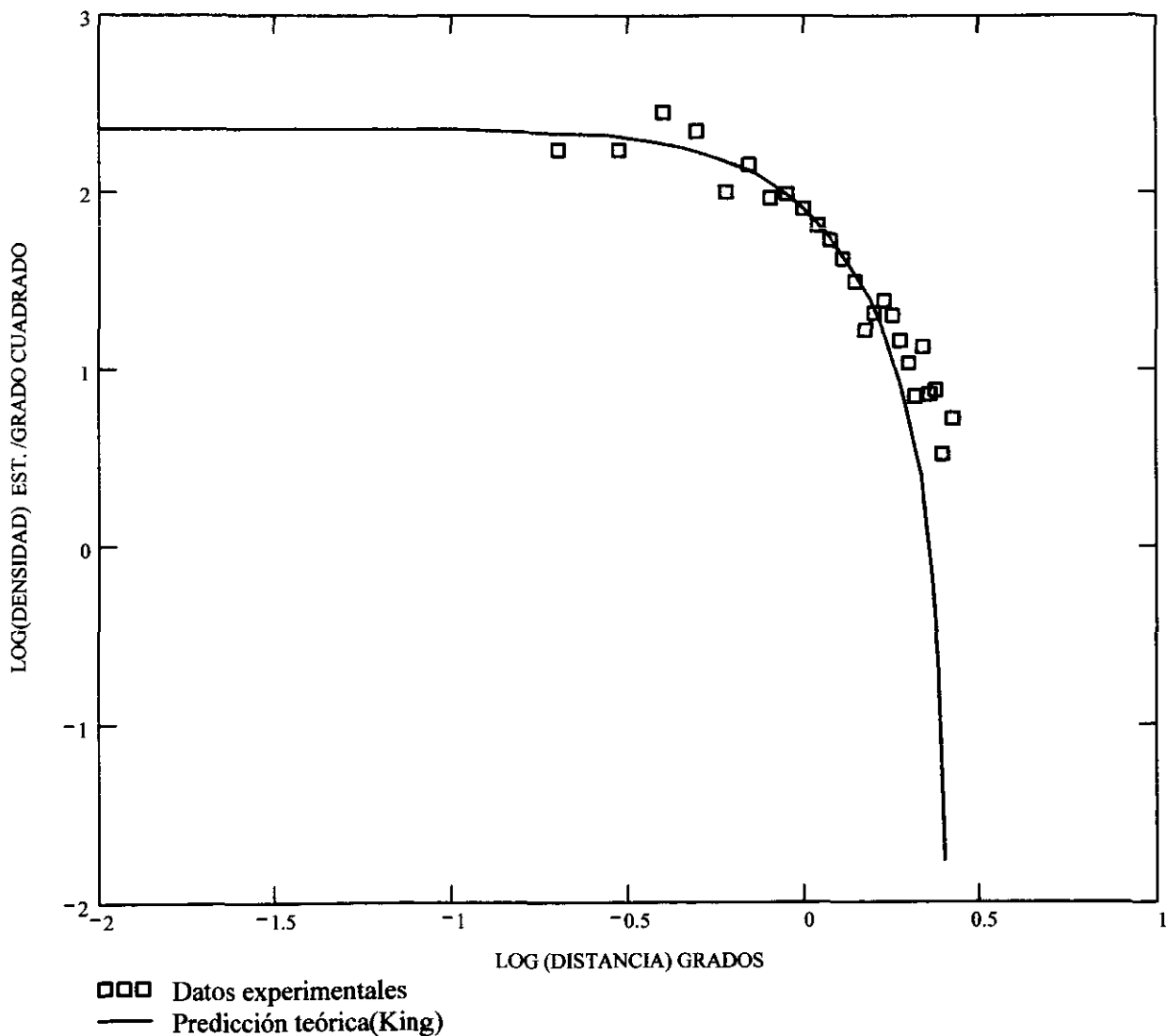


Figura 12. Logaritmo de la densidad proyectada de estrellas vs logaritmo de la separación con respecto al centro. En este ajuste no consideramos los datos de los primeros cuatro puntos (0.1 a 0.4 grados) pues es la región que tiene una deficiencia importante de estrellas.

En la gráfica anterior podemos ver que los últimos 8 puntos no se ajustan adecuadamente a la curva de densidad de King (puntos cuya distancia al centro del cúmulo es mayor que 2.5°); esto significa que alrededor 2.5° se encuentra el radio límite o de marea y por lo tanto las estrellas fuera de este radio son estrellas de campo o estrellas que ya escaparon del campo gravitacional del CNO.

El radio del núcleo, el radio de marea y la constante K correspondientes al ajuste de la figura 12 son:

$$K = 675.38 \text{ estrellas/grado}^2$$

$$r_t = 2.57^\circ$$

$$r_c = 1.19^\circ$$

El coeficiente de correlación obtenido del ajuste anterior es relativamente bueno y por lo tanto podemos usar la expresión de King (ecuación 9), con los valores de los parámetros K , r_t y r_c para describir la variación de densidad de estrellas dentro del CNO. Este resultado es muy importante para la búsqueda de sistemas binarios, lo cual es uno de los objetivos principales de este trabajo y que será materia de estudio del siguiente capítulo.

CAPÍTULO III.

El método del vecino más cercano.

En el presente capítulo se dará a conocer el método del vecino más cercano, el cual se utilizará para la búsqueda de sistemas ligados de estrellas en cúmulos estelares. También se hará un estudio de simulaciones numéricas de cúmulos de estrellas, del cual se obtendrán ciertos criterios de selección que, junto con el método del vecino más cercano, harán más eficaz la búsqueda de estrellas binarias en el cúmulo de la Nebulosa de Orión.

3.1 El vecino más cercano.

Sea M una muestra compuesta por n puntos de coordenadas (α_i, δ_i) distribuidos en un área dada y sea l_j un punto cualquiera de la muestra. Tomando como referencia un punto particular l_i su distancia a todos los puntos l_j ($j = 1, 2, 3, \dots, i-1, i+1, \dots, n$) está dada por

$$d_{ij} = \text{angcos}[\text{sen}\delta_i \text{sen}\delta_j + \cos\delta_i \cos\delta_j \cos(\alpha_j - \alpha_i)]. \quad (12)$$

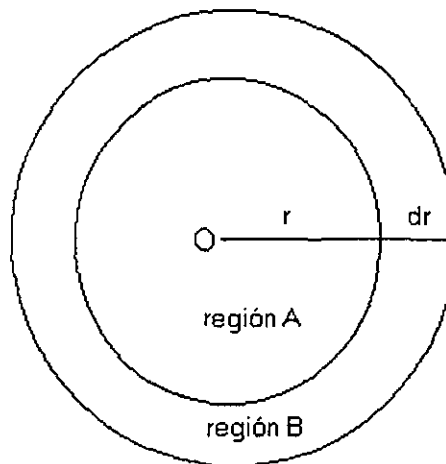
Definimos el *primer vecino más cercano* a l_i como el punto l_j tal que d_{ij} sea mínima. De la misma manera podemos encontrar el segundo vecino más cercano, el tercer vecino más cercano, etc.

Es importante hacer notar que en la fórmula de distancia entre dos puntos se están utilizando coordenadas esféricas (ecuatoriales), pero que la distancia del origen de coordenadas a los puntos en cuestión (r) se tomó unitaria porque, consideraremos que la distancia entre nosotros y todas las estrellas pertenecientes a un cúmulo es la misma. En el caso especial del CNO, para poder convertir las distancias angulares a otras unidades utilizamos como distancia unidad 470 pc (Genzel et al. 1981).

3.2 Ley de distribución del vecino más cercano en una muestra azarosa de partículas.

El problema de la distribución del vecino más cercano en una muestra de partículas distribuidas al azar fue analizado por Paul Hertz en 1908 (Hertz 1908) y más tarde por S. Chandrasekhar en su artículo *Stochastic Problems in Physics and Astronomy* (1989). Ellos derivan una fórmula que da la requerida ley de distribución del vecino más cercano, de la siguiente manera:

Sea O la posición de una partícula, r el radio de un círculo con centro en O y dr un pequeño incremento en r . El problema consiste en encontrar la probabilidad de que el vecino más cercano a la partícula en O se encuentre entre r y $r+dr$.



Sea $P\{A\}$ la probabilidad de que exista una partícula entre 0 y r (región A) y $P\{B\}$ la probabilidad de que exista una partícula entre r y $r+dr$ (región B). Obviamente, la probabilidad de que no exista una partícula en la región A es $1 - P\{A\}$. Así, si $\omega(r)dr$ es la probabilidad de que exista una partícula en una franja arbitraria de ancho dr , entonces la probabilidad de que exista una partícula en la región B y a la vez de que no exista una partícula en la región A es:

$$\omega(r)dr = \left(1 - \int_0^r \omega(r) dr\right) \omega(r) dr, \quad (13)$$

(Chandrasekhar 1989) donde n es el número promedio de partículas por unidad de área y da es un diferencial de área. De lo anterior encontramos;

$$\omega(r)dr = \left(1 - \int_0^r \omega(r) dr\right) 2n\pi r dr, \quad (14)$$

$$\int_0^r \omega(r) dr = 1 - \frac{\omega(r)}{2n\pi r}, \quad (15)$$

$$\omega(r) = \frac{d}{dr} \left(\frac{-\omega(r)}{2n\pi r} \right). \quad (16)$$

La expresión anterior es una ecuación diferencial la cual podemos resolver de la siguiente manera;

sea $f(r) = \omega(r) / 2n\pi r$; entonces,

$$2n\pi r dr = - \frac{df(r)}{f(r)}; \quad (17)$$

integrando la expresión anterior obtenemos:

$$n\pi r^2 = -\ln f(r), \quad (18)$$

de donde

$$f(r) = e^{-n\pi r^2}; \quad (19)$$

por lo tanto

$$\omega(r) = 2n\pi r e^{-n\pi r^2}, \quad (20)$$

que es la requerida ley de distribución del vecino más cercano.

Entonces la probabilidad de encontrar al vecino más cercano entre 0 y r está dada por

$$\int_0^r \omega(r) dr = 1 - e^{-n\pi r^2}, \quad (21)$$

de donde el número promedio de partículas cuyo vecino más cercano está entre 0 y r está dado por

$$N_r = N_t \left(1 - e^{-n\pi r^2} \right), \quad (22)$$

donde N_t es el número total de partículas y N_r es el número promedio de partículas cuyo vecino más cercano está entre 0 y r .

Usando la expresión 20 podemos derivar una fórmula para la separación promedio entre las partículas. Por definición la separación promedio D está dada por:

$$D = \int_0^\infty r \omega(r) dr. \quad (23)$$

Haciendo $x = n\pi r^2 \Rightarrow dx = 2n\pi r dr$, encontramos

$$D = (n\pi)^{-\frac{1}{2}} \left(\int_0^\infty e^{-x} x^{\frac{1}{2}} dx \right); \quad (24)$$

Utilizando la función gama podemos calcular la integral anterior, esto es:

$$\Gamma\left(\frac{3}{2}\right) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\frac{3}{2}-1} dx, \quad (25)$$

$$\Gamma\left(\frac{3}{2}\right) = \frac{1}{2} \pi^{\frac{1}{2}}. \quad (26)$$

Por lo tanto, la separación promedio entre las partículas es

$$D = \frac{1}{2} n^{-\frac{1}{2}}. \quad (27)$$

3.3 Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano.

Para la búsqueda de binarias en un cúmulo estelar, lo que hacemos es comparar la distribución del vecino más cercano en dicho cúmulo con la distribución del vecino más cercano que tendría una muestra totalmente al azar construida con el mismo número de miembros y en un área idéntica. La distribución de la muestra aleatoria está dada por la ley de distribución del vecino más cercano analizada anteriormente en este mismo capítulo.

Es muy importante mencionar que la distancia al vecino más cercano para cada una de las estrellas en un cúmulo estelar, no es la distancia real entre ellas, sino la distancia proyectada en la bóveda celeste. Si suponemos una distribución al azar de ángulos entre la línea de visión y la línea que une a las dos estrellas, entonces se puede demostrar que, en promedio, la separación real está relacionada con la separación proyectada por la fórmula:

$$d_c = (4/\pi) d_m \quad (28)$$

donde d_c es la separación espacial y d_m es la separación proyectada (Gómez et al, 1993).

Podemos darnos cuenta de que la ley de distribución del vecino más cercano depende fuertemente de la densidad promedio o, lo que es lo mismo, de la separación promedio entre las estrellas, es decir, que depende en gran medida del área en la que éstas se distribuyen. Por lo tanto, vamos a considerar los siguientes casos:

- a) Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano con densidad constante (este método se explica detalladamente en la sección 3.3.1).
- b) Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano con densidad variable (este método se explica detalladamente en la sección 3.3.2).

3.3.1 Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano con densidad constante.

Este método consiste en comparar la distribución del vecino más cercano en un cúmulo estelar con la distribución del vecino más cercano en una muestra azarosa de estrellas (ecuación 20) distribuidas en un área dada. Para poder efectuar dicha comparación es necesario hacer lo siguiente:

Encontrar el área óptima en que se localizan las estrellas del cúmulo real. El área óptima es aquella en la que se encuentran todas las estrellas del cúmulo sin que haya grandes espacios vacíos.

Encontrar el vecino más cercano para cada estrella del cúmulo real.

Utilizando los datos del cúmulo real (número total de estrellas y área en que estas se distribuyen), calcular la densidad promedio para la muestra azarosa de estrellas. Es claro que esta densidad es constante, puesto que es el resultado de dividir el número total de estrellas entre el área en que se distribuyen.

A partir de la densidad promedio, calcular la distancia promedio al vecino más cercano (ecuación 27).

Hecho lo anterior, es posible realizar la comparación entre los valores del cúmulo real y los valores que nos da la teoría, de la siguiente manera:

Se utilizará un marco de referencia anclado en cada una de las estrellas. A partir de esto, se procederá a contar el número de estrellas cuyo vecino más cercano está a cierta distancia dada (es muy conveniente expresar la separación entre vecinos en términos de la separación promedio). Por lo tanto, contaremos el número de estrellas cuyo vecino más cercano está a menos de $1/10$ de la separación promedio, a menos de $2/10$ de la separación promedio etc., hasta a menos de $10/10$ de la separación promedio. La ecuación 22 nos proporciona el número de estrellas de la muestra aleatoria cuyo vecino más cercano está a menos de $1/10$ de la separación promedio, etc., hasta a menos de $10/10$ de la separación promedio. Los números $1/10$, $2/10$, ..., $10/10$ serán denominados a partir de aquí **fracciones de la separación promedio**.

Al analizar los datos obtenidos podemos ver que si el número de pares de la muestra real con cierta separación es mucho más grande que el número de pares que se esperaría con esa misma separación en la muestra aleatoria, entonces existe una gran probabilidad de que el exceso de pares de la muestra real estén ligados físicamente, es decir, que constituyan sistemas binarios.

Sin embargo, este método posee serias deficiencias; por ejemplo: para calcular la densidad de estrellas en la muestra aleatoria, es necesario conocer el área geométrica óptima que contenga a las estrellas del cúmulo real. En el mejor de los casos, la densidad obtenida sobreestima la distancia real entre estrellas vecinas en el centro del cúmulo y la subestima en la periferia, de manera que con este método sólo es posible encontrar las estrellas binarias cuya separación es pequeña y cuya distancia al centro es grande.

3.3.2 Búsqueda de binarias por el método del vecino más cercano con densidad variable.

En el capítulo II analizamos la forma de la distribución de densidad en el CNO, mediante la fórmula de King. Con esta herramienta disponible, es posible conocer la densidad de estrellas para cada punto y a cualquier distancia del centro del cúmulo de una manera fácil y con buena precisión. Luego, si conocemos la distancia de cada estrella al centro del cúmulo podemos conocer la densidad en ese punto y mediante la fórmula 27, la distancia promedio al vecino más cercano para la estrella en cuestión, es decir, cada estrella tiene una distancia promedio al vecino más cercano. Con este resultado es claro que si alguna estrella tiene su vecino mucho más cerca de lo que predice la teoría, entonces la probabilidad de que tales estrellas constituyan un sistema binario es muy grande. En la sección 3.8 explicaremos los criterios para seleccionar los más probables sistemas binarios de estrellas.

3.4 Simulaciones numéricas de un cúmulo estelar.

Como vimos en la sección anterior, para cada estrella existe una compañera o vecino más cercano, pero ¿Cómo podemos saber cuáles pares de estrellas están ligados físicamente? ¿Qué condiciones se deben cumplir para poder decir que las estrellas en cuestión forman sistemas reales? La respuesta a estas preguntas la podemos obtener haciendo un estudio estadístico en cúmulos simulados, es decir, creando cúmulos con las características del CNO, en donde cierto porcentaje de estrellas sean sistemas dobles o binarios.

3.4.1 Construcción de los cúmulos simulados.

Los cúmulos simulados que haremos tendrán las siguientes características:

769 estrellas distribuidas alrededor del punto $5^h 35^m 16.45^s$ de ascensión recta y $-5^\circ 23' 23.07''$ de declinación (ver sección 2.2), el cual corresponde al centro del CNO (época 2000) (Herbig y Terndrup. 1986).

De las 769 estrellas anteriores, cierto porcentaje tendrán coordenadas al azar pero seguirán la distribución de densidad dada por la fórmula de King con los parámetros del CNO (Método de Montecarlo).

Las restantes estrellas formarán sistemas binarios cuyas estrellas primarias seguirán la distribución de King, los ángulos de posición relativos estarán distribuidos al azar y su distribución de separaciones se obtendrá mediante la distribución de Öpik (Öpik, 1924) (ver sección siguiente) con separaciones en el intervalo (s_0, s_m) , donde s_0 es la separación mínima y s_m es la separación máxima.

3.4.2 Ley de Öpik para la distribución de separaciones de binarias.

La distribución de Öpik predice una densidad de separaciones proporcional a $1/s^2$, $\{\rho(s)=C/s^2\}$, siendo s la separación entre las componentes de la binarias y C una constante de normalización. Esta distribución de densidad representa muy bien a varios grupos de estrellas binarias, por ejemplo: algunas muestras depuradas de estrellas binarias de los catálogos IDS y LDS (Poveda, 1988) y a la muestra de estrellas binarias de la vecindad solar (Poveda et al. 1994). De esta última muestra utilizaremos los parámetros separación mínima y separación máxima de las componentes de las binarias, para la simulación de los cúmulos (25, 200 000 AU¹).

Nuestro propósito es encontrar una expresión que nos genere separaciones aleatorias entre estrellas con la distribución de Öpik en el intervalo (s_0, s_m) .

¹ En la muestra de estrellas binarias de la vecindad solar la separación máxima registrada es de 442842 UA, sin embargo, creemos que esta separación podría estar más allá del valor, dentro del cual, una par de estrellas aun están ligadas gravitacionalmente. Por lo que, tomamos el valor máximo registrado en el resto de las binarias, que es de aproximadamente 200 000 UA.

Si integramos la función de distribución de densidad desde una separación s_0 hasta una separación s_m , esto nos dará el número total de separaciones en dicho intervalo y podremos conocer la constante C presente en dicha función de la siguiente manera:

$$N_t = \int_{s_0}^{s_m} \rho(s) da, \quad (29)$$

donde N_t es el número total de separaciones en el intervalo (s_0, s_m) , $a = \pi s^2$ y $da = 2\pi s ds$.

Integrando y despejando C encontramos

$$C = \frac{N_t}{2\pi \ln\left(\frac{s_m}{s_0}\right)}, \quad (30)$$

de donde, finalmente

$$\rho(s) = \frac{N_t}{2\pi \ln\left(\frac{s_m}{s_0}\right) s^2}. \quad (31)$$

También necesitamos obtener valores de una variable aleatoria continua ξ distribuida con la densidad $\rho(s)$ en el intervalo (s_0, s_m) . Para esto utilizaremos el *Método de Monte Carlo* (Sóbol. 1974) el cual nos dice que los valores de ξ se pueden determinar de la ecuación:

$$\int_{s_0}^{\xi} \rho(s) da = \gamma, \quad (32)$$

donde γ es una variable aleatoria en el intervalo $(0,1)$.

Resolviendo la ecuación anterior encontramos

$$2\pi C \ln\left(\frac{\xi}{s_0}\right) = \gamma; \quad (33)$$

Sustituyendo C obtenemos

$$\xi = s_0 \left(e^{\left(\frac{\gamma}{N_t} \right) \ln \left(\frac{s_m}{s_0} \right)} \right). \quad (34)$$

Reduciendo encontramos

$$\xi = s_0 \left(\frac{s_m}{s_0} \right)^{\frac{\gamma}{N_t}}, \quad (35)$$

la cual es la requerida expresión para generar números aleatorios en el intervalo (s_0, s_m) . Este método también se aplicó para generar las coordenadas de las estrellas solitarias y de las estrellas primarias siguiendo la distribución de densidad de King. El método se probó tanto para la distribución de densidad de estrellas como para la distribución de separaciones de binarias, simplemente haciendo los ajustes de la función de King y la función de Öpik a los datos de los cúmulos simulados, respectivamente. Los coeficientes de correlación obtenidos de los ajustes fueron superiores, en todos los casos, a 0.99.

3.4.3 Distribución en la bóveda celeste de las estrellas de uno de los cúmulos simulados.

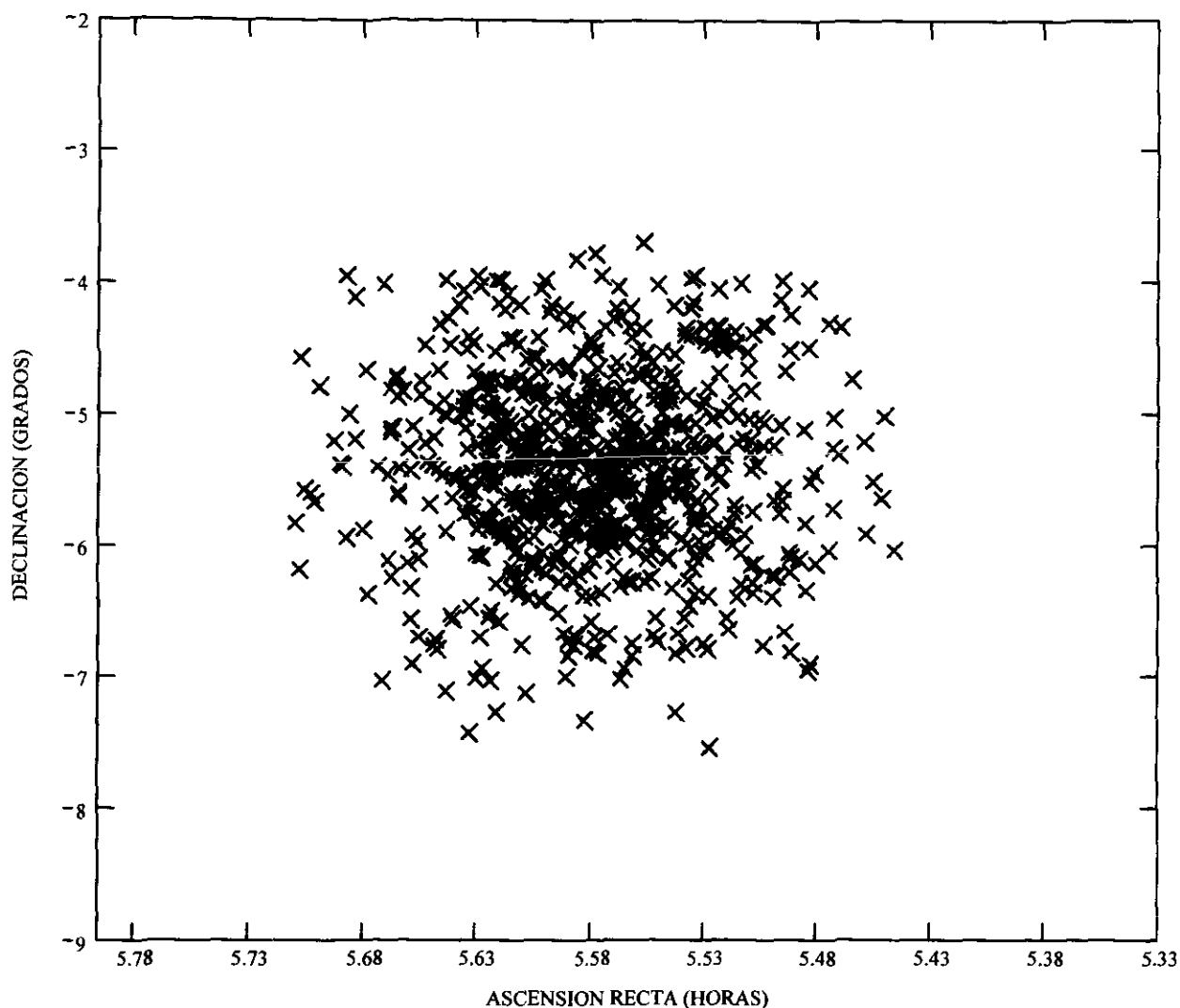


Figura 13. Distribución en la bóveda celeste de 769 estrellas de uno de los cúmulos simulados. Ascensión Recta (horas) vs. Declinación (grados).

3.5 Análisis estadístico de los cúmulos simulados.

Nuestro análisis estadístico se hizo con 50 cúmulos simulados con 769 estrellas cada uno, con un porcentaje de 10, 20, 30, 40 y 50% de estrellas pertenecientes a un sistema binario. Se construyeron 10 muestras para cada porcentaje. En cada una de las muestras se hizo lo siguiente:

Se encontró el vecino más cercano para cada una de las 769 estrellas.

Se identificaron los pares de estrellas que son mutuos primeros vecinos más cercanos (la estrella a es el vecino más cercano a la estrella b y la estrella b es el vecino más cercano a la estrella a).

Se obtuvo, para cada estrella de la muestra, la separación promedio a la que debería estar el vecino más cercano (ecuación 27).

Se comparó la separación real entre vecinos con la separación esperada dada por la teoría (separación promedio).

3.6 Términos que se utilizan para describir los resultados de las simulaciones

Para poder describir los resultados de las simulaciones es necesario hacer algunas definiciones, las cuales están dadas a continuación. Es muy importante entender perfectamente las primeras 5 definiciones para poder entender los encabezados de las tablas de resultados descritas en la sección 3.7.

Binarias originales o reales

Son las parejas de estrellas que fueron colocadas en el cúmulo como binarias.

Pares encontrados o posibles binarias

Son todas las parejas de estrellas del cúmulo simulado que, al hacer el análisis del vecino más cercano, cumplen con la condición de ser mutuos primeros vecinos más cercanos (A es el vecino más cercano a B y B es el vecino más cercano a A) y cuyas separaciones son menores o iguales que la separación promedio predicha por la teoría.

Binarias reconocidas

Binarias originales que fueron recuperadas mediante el análisis del vecino más cercano, es decir, sus componentes son mutuos primeros vecinos más cercanos y sus separaciones son menores o iguales que la

separación promedio predicha por la teoría. Son un subconjunto de los pares encontrados.

Binarias no reconocidas o perdidas

Binarias originales, que al ser colocadas dentro del cúmulo simulado, no cumplen con la característica de que sus componentes son mutuos primeros vecinos más cercanos (debido a que una estrella de fondo cayó entre las componentes del par o a que su separación es mayor que la separación promedio).

Binarias espúreas (ópticas)

Pares encontrados que no son binarias originales.

A continuación presentamos la definición de los encabezados que se encuentran en las tablas de resultados de las simulaciones. Como vimos en la sección 3.3.1 es muy conveniente analizar los datos en términos de fracciones de la separación promedio.

FSP: Fracción de la separación promedio (tal como fue definida en la sección 3.3.1).

BENTOT: Porcentaje de binarias reconocidas con respecto al total de binarias originales.

Ejemplo: si colocamos 100 binarias en una simulación, en esta columna encontraremos el porcentaje de binarias recuperadas, mediante el método del vecino más cercano, con respecto a estas 100 binarias.

BENREC: Porcentaje de binarias reconocidas con respecto a los pares encontrados. Puede verse también como el porcentaje de binarias reales con respecto a todas las posibles binarias.

Ejemplo: Si colocamos 100 binarias en una simulación y mediante el análisis del vecino más cercano encontramos 150 pares de posibles binarias, entonces

en esta columna tendremos el porcentaje de binarias reales de esas 150 posibles binarias.

BENESP: Porcentaje de binarias espúreas con respecto a los pares encontrados.

Ejemplo: Si colocamos 100 binarias en una simulación y mediante el análisis del vecino más cercano encontramos 150 pares de posibles binarias, entonces en esta columna tendremos el porcentaje de pares de estrellas que no son binarias reales de esas 150 posibles binarias.

3.7 Datos obtenidos de las simulaciones con distintos porcentajes de binarias.

La tabla 2 muestra los promedios de los datos obtenidos de 10 cúmulos simulados con **10% de binarias**.

FSP	BENTOT	BENREC	BENESP
1/10	66.84	90.04	9.96
2/10	74.21	72.03	27.97
3/10	78.16	56.15	43.85
4/10	79.21	42.87	57.13
5/10	81.32	34.59	65.41
6/10	82.37	28.31	71.69
7/10	84.47	24.81	75.19
8/10	85.79	21.65	78.35
9/10	86.58	19.58	80.42
10/10	87.11	17.65	82.35

Tabla 2. La primera columna muestra la fracción de la separación promedio, la segunda columna muestra el porcentaje de binarias recuperadas con respecto al total original, la tercera columna muestra el porcentaje de binarias reales de todas las posibles binarias y la cuarta columna muestra el porcentaje de binarias espúreas de todas las posibles binarias.

La tabla 3 muestra los promedios de los datos obtenidos de 10 cúmulos simulados con **20% de binarias**

FSP	BENTOT	BENREC	BENESP
1/10	65.26	95.06	4.94
2/10	72.76	85.37	14.63
3/10	76.18	72.39	27.61
4/10	79.21	62.60	37.40
5/10	81.45	55.11	44.89
6/10	82.76	48.40	51.60
7/10	84.08	43.38	56.62
8/10	84.74	39.08	60.92
9/10	85.13	35.61	64.39
10/10	85.92	32.95	67.05

Tabla 3. La primera columna muestra la fracción de la separación promedio, la segunda columna muestra el porcentaje de binarias recuperadas con respecto al total original, la tercera columna muestra el porcentaje de binarias reales de todas las posibles binarias y la cuarta columna muestra el porcentaje de binarias espúreas de todas las posibles binarias.

La tabla 4 muestra los promedios de los datos obtenidos de 10 cúmulos simulados con **30% de binarias**

FSP	BENTOT	BENREC	BENESP
1/10	65.65	96.96	3.04
2/10	75.13	91.32	8.68
3/10	78.96	85.21	14.79
4/10	81.74	76.18	23.82
5/10	83.65	70.51	29.49
6/10	84.87	63.80	36.20
7/10	85.74	59.28	40.72
8/10	86.26	54.76	45.24
9/10	86.78	51.29	48.71
10/10	87.22	48.38	51.62

Tabla 4. La primera columna muestra la fracción de la separación promedio, la segunda columna muestra el porcentaje de binarias recuperadas con respecto al total original, la tercera columna muestra el porcentaje de binarias reales de todas las posibles binarias y la cuarta columna muestra el porcentaje de binarias espúreas de todas las posibles binarias.

La tabla 5 muestra los promedios de los datos obtenidos de 10 cúmulos simulados con **40% de binarias**

FSP	BENTOT	BENREC	BENESP
1/10	65.62	98.60	1.40
2/10	73.99	93.68	6.32
3/10	77.58	89.26	10.74
4/10	80.13	84.18	15.82
5/10	81.76	79.25	20.75
6/10	83.01	74.35	25.65
7/10	84.05	69.88	30.12
8/10	84.71	66.20	33.80
9/10	85.23	63.15	36.85
10/10	86.47	60.70	39.30

Tabla 5. La primera columna muestra la fracción de la separación promedio, la segunda columna muestra el porcentaje de binarias recuperadas con respecto al total original, la tercera columna muestra el porcentaje de binarias reales de todas las posibles binarias y la cuarta columna muestra el porcentaje de binarias espúreas de todas las posibles binarias

La tabla 6 muestra los promedios de los datos obtenidos de 10 cúmulos simulados con **50% de binarias**

FSP	BENTOT	BENREC	BENESP
1/10	65.99	97.90	2.10
2/10	73.23	95.83	4.17
3/10	77.81	93.14	6.86
4/10	80.26	89.18	10.82
5/10	81.77	85.62	14.38
6/10	83.12	82.57	17.43
7/10	84.22	79.52	20.48
8/10	85.00	76.07	23.93
9/10	85.68	74.13	25.87
10/10	87.03	72.57	27.43

Tabla 6. La primera columna muestra la fracción de la separación promedio, la segunda columna muestra el porcentaje de binarias recuperadas con respecto al total original, la tercera columna muestra el porcentaje de binarias reales de todas las posibles binarias y la cuarta columna muestra el porcentaje de binarias espúreas de todas las posibles binarias

3.8 Resultados más importantes de los datos obtenidos de las simulaciones

1. Con la aplicación del método del vecino más cercano a cada uno de los cúmulos simulados, **no se reconoce el 100% de las binarias que fueron creadas.**

2. El porcentaje de binarias reconocidas es independiente del porcentaje de binarias originales puestas en cada simulación. En promedio se reconoce un 87% de las binarias originales con separaciones menores o iguales que la separación promedio.

3. El porcentaje de binarias reconocidas con respecto a las posibles binarias aumenta conforme aumenta el porcentaje de binarias reales puestas en cada simulación.

4. El porcentaje de binarias espúreas con respecto a las posibles binarias disminuye conforme aumenta el porcentaje de binarias reales puestas en cada simulación.

5. El menor porcentaje de binarias espúreas y el mayor porcentaje de binarias reales con respecto a las posibles binarias se da cuando la separación entre las componentes es menor que $1/10$ de la separación promedio. Sin embargo, la cantidad de binarias reconocidas del total puesto en cada simulación es en promedio de 66%. Siendo más laxos podemos mejorar el porcentaje de binarias reconocidas aunque la cantidad de binarias espúreas puede aumentar considerablemente.

6. Se recuperan aproximadamente 80% de las binarias originales que fueron puestas dentro del radio del núcleo (con separaciones menores o iguales que la separación promedio), sin depender del porcentaje de binarias puestas en la simulación.

7. Se recuperan aproximadamente 95% de las binarias que fueron puestas fuera del radio del núcleo (con separaciones menores o iguales que la separación promedio), sin depender del porcentaje de binarias puestas en la simulación.

8. El menor porcentaje de binarias espúreas y el mayor porcentaje de binarias reconocidas (a cualquier fracción de la separación

promedio), con respecto a los pares encontrados, se da cuando el porcentaje de binarias originales dentro de la simulación es de 50% (tabla 6).

9. El mayor porcentaje de binarias espúreas y el menor porcentaje de binarias reconocidas (a cualquier fracción de la separación promedio), con respecto a los pares encontrados, se da cuando el porcentaje de binarias originales dentro de la simulación es de 10% (tabla 2). Realmente este es un caso extremo, puesto que el sistema real observado con menos binarias (aproximadamente 18% de binarias) es la vecindad solar. Este caso, considerado como extremo nos permite obtener un criterio mediante el cual podemos establecer qué fracción de la separación promedio se puede usar como estándar en todos los cúmulos estelares (cúmulos de cualquier edad), para la obtención de la mayor cantidad de binarias reales.

El criterio, basado en el caso extremo, consiste en encontrar la fracción de la separación promedio para la cual el costo (porcentaje de binarias espúreas mayor al 50% con respecto a todas las posibles binarias) y el beneficio (porcentaje de binarias reconocidas mayor que 50% con respecto a todas las posibles binarias) sean iguales. Es decir, que la fracción de la separación promedio para la cual el porcentaje de binarias espúreas y reales sea de 50%.

De la tabla 2 podemos darnos cuenta que la fracción de la separación promedio, consecuencia del criterio antes descrito, es aproximadamente $3/10$. Por lo tanto, a partir de aquí consideraremos que $3/10$ de la separación promedio representa un buen criterio de selección de binarias dentro de un cúmulo estelar y le llamaremos **el criterio de los $3/10$ de la separación promedio**.

10. Si el porcentaje de binarias reales dentro de un cúmulo es de 50% (tabla 6), entonces se recupera un 78% de las binarias reales cuya separación es menor o igual que $3/10$ de la separación promedio y, además, de todos los pares encontrados en este mismo intervalo de separación, aproximadamente, el 93% son binarias reales y el 7% son binarias espúreas.

Este último resultado es muy importante en el caso del CNO, pues en la literatura podemos encontrar que aproximadamente la mitad de las estrellas nacen en sistemas binarios y, puesto que el CNO es

relativamente joven (Hillenbrand. 1997), entonces deberíamos tener a la mitad de su población dentro de sistemas binarios. Sin embargo todo el trabajo hecho aquí puede aplicarse a otros cúmulos de estrellas.

Dos consideraciones interesantes que deben ser tomadas en cuenta antes de aplicar los anteriores resultados al CNO, son que en las simulaciones consideramos a cada estrella como un punto y que la distribución de separaciones de las binarias se consideró dentro del intervalo 25-200 000 UA. Sin embargo, en los casos de cúmulos reales (y, en particular, en el CNO) tenemos imágenes que no son puntuales y estrellas de distinta magnitud. Esto hace que muchas de las estrellas binarias o triples con separaciones suficientemente pequeñas, a la distancia del CNO, se vean como una sola estrella. Por lo tanto, las binarias que podamos reconocer en el CNO, con el método del vecino más cercano y los distintos criterios de selección, estará sesgada hacia separaciones grandes.

En el siguiente capítulo aplicaremos el método del vecino más cercano y los distintos criterios de selección para encontrar los más probables sistemas binarios dentro del cúmulo de la Nebulosa de Orión.

CAPÍTULO IV

Búsqueda de sistemas binarios en el cúmulo de la Nebulosa de Orión.

Como vimos en el capítulo anterior, el método del vecino más cercano no es herramienta suficiente para encontrar el 100% de los sistemas ligados de estrellas en un cúmulo estelar. Siempre es necesario recurrir a otros mecanismos de selección (la separación entre vecinos estelares, la distancia al centro de los pares de estrellas, etc.).

De nuestro análisis de cúmulos simulados encontramos que el criterio de los **3/10 de la separación promedio** es una buena herramienta de selección, con el cual se recupera, en el peor de los casos (cúmulos con 10% de binarias reales) mas del 50% de binarias reales. Además, si combinamos este criterio con los resultados de las simulaciones con 50% de binarias, que como vimos en la sección 3.8 son los que pueden ser aplicados al CNO, entonces se recupera un 78% de las binarias reales y de todos los pares encontrados en este mismo intervalo de separación, aproximadamente el 93% son binarias reales y el 7% son binarias espúreas

4.1 Lista de los resultados más importantes sobre la búsqueda de binarias obtenidos en el CNO.

En el CNO, encontramos que existen 208 pares de estrellas con la característica de que sus componentes son mutuos primeros vecinos más cercanos (A es el vecino más cercano a B y B es el vecino más cercano a A) y cuyas separaciones son menores o iguales que la separación promedio. Según las definiciones del capítulo III sección 3.6, tenemos 208 posibles binarias o pares encontrados.

De los 208 pares de posibles binarias, sólo 79 cumplen con el criterio de que sus componentes se hallan a menos de 3/10 de la separación promedio. Y por lo tanto estos 79 pares de estrellas son los que aceptaremos como binarias

4.2 Catálogo de estrellas binarias encontradas en el CNO.

A continuación se presenta una lista de los 79 pares de estrellas del CNO (79 separaciones y 158 estrellas), las cuales tienen alta probabilidad ($\approx 93\%$) de ser sistemas binarios, pues cumplen los criterios de selección estudiados anteriormente.

En la primera columna del catálogo aparece el nombre de la estrella con el número de Tonantzintla o nombre de estrella variable; en la segunda columna aparece la separación proyectada de las estrellas binarias en unidades astronómicas; en la tercera columna aparece la distancia proyectada de cada una de las estrellas al centro del cúmulo en parsecs y en las siguientes columnas se dan las coordenadas ascensión recta y declinación (época 2000).

La separación dada para los 79 probables sistemas binarios fue obtenida mediante la fórmula 12, es decir, se utilizaron las coordenadas de las estrellas en cuestión, así como también la distancia entre nosotros y el CNO (≈ 470 pc).

NOMBRE	SEP (UA)	DIS.CEN. (PC)	HRS	AR MIN	SEG	GRA	DEC MIN	SEG
1	529659	21.92	5	27	14.9	3	37	2.46
V677 ORI		21.41	5	28	17.6	3	26	38.7
2	370425	21.09	5	27	12.1	6	59	54.19
V676 ORI		19.32	5	27	47.5	6	50	
5	24525	23.17	5	28	17.1	7	37	5.46
6		23.05	5	28	19.4	7	36	26.15
8	37295	14.01	5	29	0.8	4	41	32.57
V921 ORI		14.16	5	28	55.6	4	41	44.98
9	179019	23.05	5	29	4.4	7	44	25.24
10		22.87	5	29	28.5	7	46	36.81
11	122779	21.30	5	29	54.8	7	37	8.75
12		20.75	5	29	57.1	7	32	49.72
42	22107	5.72	5	33	7.2	4	56	34.58
V927 ORI		5.72	5	33	5.3	4	57	12.35

NOMBRE	SEP (UA)	DIS.CEN. (PC)	HRS	AR MIN	SEG	GRA	DEC MIN	SEG
56	12263	3.81	5	33	32.1	5	33	32.9
V385 ORI		3.75	5	33	33.8	5	33	25.82
65	18898	7.63	5	33	42.0	6	14	2
V545 ORI		7.59	5	33	44.7	6	13	59.77
85	28758	6.94	5	34	0.3	4	36	14.71
86		6.91	5	34	4.4	4	36	6.16
109	30657	6.88	5	34	20.6	4	35	1.56
V932 ORI		6.74	5	34	22.9	4	35	56.51
115	13006	4.01	5	34	25.5	4	56	55.13
IP ORI		4.06	5	34	25.8	4	56	27.43
125	7509	3.65	5	34	29.5	5	47	24.64
V750 ORI		3.64	5	34	28.8	5	47	13.95
140	20792	3.23	5	34	40.9	5	45	17.3
IZ ORI		3.14	5	34	43.0	5	44	46.37
191	14379	3.37	5	35	5.6	4	58	53.4
V554 ORI		3.44	5	35	4.9	4	58	23.88
231	11470	2.62	5	35	17.8	5	42	34.21
V411 ORI		2.57	5	35	17.1	5	42	12.8
275	32732	11.06	5	35	28.9	6	44	14.92
TW ORI		11.21	5	35	30.9	6	45	18.44
282	26013	8.17	5	35	34.1	6	22	57.33
296		8.24	5	35	37.3	6	23	26.01
308	16791	8.03	5	35	42.8	6	21	43.94
V810 ORI		8.11	5	35	43.3	6	22	18.72
311	28429	6.77	5	35	46.0	6	12	22.58
V1001ORI		6.89	5	35	48.7	6	13	7.53
317	8671	3.17	5	35	48.9	5	1	38.84
CE ORI		3.18	5	35	47.9	5	1	27.01
351	18898	7.35	5	35	59.7	6	16	5.93
V393 ORI		7.29	5	36	1.0	6	15	31.01
353	23746	7.75	5	36	6.7	4	28	7.78
V820 ORI		7.66	5	36	8.3	4	28	52.63
373	33861	8.67	5	36	14.1	4	21	35.7
374		8.52	5	36	14.5	4	22	47.5
398	16791	8.53	5	36	27.6	6	23	11.4
V584 ORI		8.55	5	36	30.0	6	23	9.47

NOMBRE	SEP (UA)	DIS.CEN. (PC)	HRS	AR MIN	SEG	GRA	DEC MIN	SEG
411	8671	3.09	5	36	47.1	5	22	49.29
V848 ORI		3.12	5	36	48.2	5	22	56.2
412	35222	10.07	5	36	41.3	6	33	59.71
V585 ORI		9.95	5	36	36.9	6	33	23.2
417	15632	5.94	5	36	56.1	5	59	1.56
418		5.89	5	36	56.9	5	58	30.24
424	25280	8.39	5	36	54.2	6	19	44.77
V856 ORI		8.51	5	36	56.6	6	20	25.31
430	8671	14.24	5	37	14.4	7	3	22.49
431		14.28	5	37	13.9	7	3	40.4
446	9694	9.43	5	37	49.8	4	25	56.57
447		9.39	5	37	50.1	4	26	16.4
449	335798	21.34	5	36	49.4	7	57	43.98
V840 ORI		19.82	5	36	25.7	7	47	22.48
450	18394	13.74	5	37	49.5	6	56	27.35
V591 ORI		13.82	5	37	51.6	6	56	49.06
452	41585	14.02	5	37	53.4	6	58	14.85
458		14.16	5	37	59.0	6	58	45.45
467	56859	14.40	5	38	21.5	6	58	8.96
V994 ORI		14.67	5	38	25.8	6	59	51.42
469	33018	12.84	5	38	30.1	4	2	46.3
471		13.00	5	38	32.7	4	1	47.98
470	18394	15.61	5	38	23.8	7	7	38.28
V884 ORI		15.63	5	38	26.4	7	7	32.72
474	11471	13.25	5	38	27.1	6	47	57.48
V1002ORI		13.23	5	38	25.4	6	47	57.23
480	70176	13.89	5	38	31.9	6	52	38.55
V592 ORI		14.09	5	38	27.6	6	54	53.55
482	97235	20.72	5	38	36.6	7	46	33.57
487		20.59	5	38	47.8	7	44	31.89
488	29083	17.55	5	38	49.9	7	20	17.81
489		17.69	5	38	52.3	7	21	8.88
497	120851	18.82	5	39	22.3	7	26	44.31
501		19.25	5	39	38.5	7	28	14.68
500	31264	21.13	5	39	36.3	7	43	50.01
502		21.03	5	39	38.0	7	42	48.45

NOMBRE	SEP (UA)	DIS.CEN. (PC)	HRS	AR MIN	SEG	GRA	DEC MIN	SEG
504	41585	13.33	5	40	4.9	6	29	24.3
505		13.21	5	40	5.6	6	27	56.28
511	9694	17.67	5	40	11.1	7	9	52.13
V995 ORI		17.64	5	40	9.7	7	9	53.65
513	198772	19.67	5	40	20.3	7	25	53.54
V902 ORI		19.73	5	40	45.1	7	22	24.79
515	169916	24.76	5	40	24.9	8	7	32.25
518		24.76	5	40	46.8	8	4	53.67
516	44847	17.69	5	40	30.1	7	6	44.5
V898 ORI		17.48	5	40	25.6	7	5	36.75
517	38535	14.44	5	40	40.0	6	31	49.47
V958 ORI		14.36	5	40	41.4	6	30	30.16
525	67722	24.34	5	41	33.2	7	55	1.69
526		24.11	5	41	34.7	7	52	39.43
532	109851	26.65	5	42	58.3	8	1	1.43
533		27.14	5	43	1.7	8	4	49.59
SY ORI	8671	7.63	5	35	9.5	4	27	36.22
V481 ORI		7.60	5	35	8.5	4	27	48.19
VX ORI	15019	6.44	5	33	33.8	4	43	46
BS ORI		6.38	5	33	33.9	4	44	18.18
WW ORI	18394	3.11	5	34	2.9	5	36	56.4
II ORI		3.09	5	34	2.1	5	36	18.97
AB ORI	13710	2.72	5	35	14.1	5	43	18.61
V486 ORI		2.73	5	35	12.1	5	43	18.46
AV ORI	19389	10.92	5	36	0.1	6	42	33.27
V577 ORI		10.93	5	35	57.4	6	42	40.93
BE ORI	9694	10.21	5	37	0.0	6	33	27.28
V857 ORI		10.18	5	37	0.8	6	33	10.11
BF ORI	22107	10.56	5	37	13.2	6	34	59.84
V865 ORI		10.59	5	37	10.6	6	35	27.14
HX ORI	28097	6.79	5	33	49.9	4	38	34.31
V353 ORI		6.72	5	33	48.1	4	39	27.18
NT ORI	35487	11.56	5	35	25.0	6	47	55.8
V942 ORI		11.49	5	35	20.4	6	47	25.27
V400 ORI	11471	3.26	5	34	47.0	5	46	4.48
V770 ORI		3.31	5	34	47.0	5	46	28.64

NOMBRE	SEP (UA)	DIS.CEN. (PC)	HRS	AR MIN	SEG	GRA	DEC MIN	SEG
V408 ORI	10619	1.49	5	35	5.2	5	33	53.93
V982 ORI		1.44	5	35	6.2	5	33	36.01
V423 ORI	14379	5.02	5	35	34.2	4	46	56.02
V565 ORI		4.99	5	35	32.1	4	47	1.89
V510 ORI	75964	25.18	5	39	39.8	2	31	20.77
V603 ORI		24.82	5	39	38.6	2	34	1.55
V544 ORI	12263	10.25	5	33	38.1	4	12	31.7
V724 ORI		10.28	5	33	36.5	4	12	23.14
V561 ORI	23347	9.03	5	35	22.7	4	17	19.17
V792 ORI		8.94	5	35	21.8	4	18	6.46
V582 ORI	36531	8.85	5	36	21.7	6	26	1.48
V990 ORI		8.95	5	36	26.6	6	26	28.33
V593 ORI	29723	16.36	5	38	0.8	7	15	53.84
V878 ORI		16.45	5	38	4.9	7	16	10.18
V606 ORI	205879	23.44	5	39	54.6	2	46	33.81
V957 ORI		22.68	5	39	28.5	2	49	51.22
V620 ORI	70709	30.74	5	41	52.2	2	1	21.2
V621 ORI		30.44	5	41	52.6	2	3	51.39
V713 ORI	13710	5.42	5	33	10.5	4	59	7.65
V714 ORI		5.36	5	33	11.5	4	59	32.31
V748 ORI	26372	7.76	5	34	23.5	6	18	38.23
V933 ORI		7.81	5	34	19.8	6	18	47.39
V751 ORI	20792	5.25	5	34	27.9	5	59	52.12
V934 ORI		5.16	5	34	28.1	5	59	8.32
V753 ORI	29405	8.19	5	34	28.6	6	22	7.43
V761 ORI		8.26	5	34	31.7	6	22	48.66
V771 ORI	16222	8.04	5	34	45.3	6	21	40.59
V775 ORI		7.96	5	34	45.1	6	21	6.27
V813 ORI	22941	9.63	5	35	50.5	6	33	17
V1074ORI		9.63	5	35	47.2	6	33	22.83
V844 ORI	38290	10.94	5	36	31.4	6	41	13.06
V952 ORI		10.78	5	36	32.7	6	39	54.03
V873 ORI	45056	10.61	5	37	41.2	4	14	37.35
V1079ORI		10.74	5	37	38.2	4	13	12.09
V938 ORI	26372	6.01	5	34	38.7	6	6	18.48
V981 ORI		6.12	5	34	39.6	6	7	12.63

El catálogo anterior es una importante lista de probables binarias del CNO. Esta lista es importante porque representa la población más joven y accesible de binarias abiertas y nos puede aportar mucha información en cuanto a la distribución primordial de separaciones, es decir, de la distribución de separaciones con la que nacen las binarias en los sistemas estelares.

CAPÍTULO V.

Distribución de separaciones de estrellas binarias y múltiples en grupos de distintas edades.

5.1 Análisis de la distribución de separaciones de 79 sistemas binarios encontrados en el CNO.

Para hacer la distribución de separaciones de los 79 sistemas binarios encontrados en el cúmulo de la Nebulosa de Orión se realizó lo siguiente:

1. Se colocaron todas las estrellas primarias en un punto, así que las estrellas secundarias forman una nube alrededor de dicho punto (como en un cúmulo).
2. Se crearon círculos concéntricos con cierta separación (ver sección 5.2) a partir de cada una de las estrellas primarias del sistema.
3. Se contaron todas las estrellas secundarias dentro de cada uno de los anillos formados por los círculos concéntricos, es decir, las estrellas binarias cuya separación estaba entre el límite superior y el límite inferior de cada anillo.

5.2 Conteos de separaciones de binarias en intervalos que crecen geométricamente

Es muy conveniente usar para la separación entre las circunferencias una progresión geométrica con base raíz de dos, puesto que de esta manera los intervalos crecen de una forma moderada, pero sobre todo porque si la distribución de separaciones de las componentes de las binarias sigue la distribución de Öpik (1924) ($\rho(s) = C/s^2$) y el tamaño de los anillos sigue una progresión geométrica, entonces el número de estrellas en los anillos es constante (en una gráfica de logaritmo de separación vs. número acumulado

hasta esa separación, tendremos una línea recta). Para demostrarlo, supongamos:

$$s = bu^{k-1}, \quad (36)$$

donde b es el coeficiente, u la base y k el exponente de la progresión.

Entonces, el número de estrellas (N_e) en el anillo definido por el intervalo (bu^{k-1}, bu^k) esta dado por

$$N_e = \int_{bu^{k-1}}^{bu^k} \rho(s) da. \quad (37)$$

Sustituyendo la ecuación de densidad de Öpik

$$N_e = 2\pi C \int_{bu^{k-1}}^{bu^k} \frac{ds}{s}, \quad (38)$$

integrando obtenemos

$$N_e = 2\pi C \ln \left(\frac{bu^k}{bu^{k-1}} \right); \quad (39)$$

Reduciendo, encontramos

$$N_e = 2\pi C \ln(u), \quad (40)$$

es decir, el número de estrellas es constante independientemente del intervalo (anillo) que se tome.

Para asignar el coeficiente a la progresión geométrica se utilizaron nuevamente los datos de las estrellas binarias de la vecindad solar (Poveda et al. 1994), es decir, $b=25$ UA.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos:

Número de orden del anillo	Límite superior del anillo (UA)	Número de binarias en cada anillo.	Número acumulado de binarias.
1	25	0	0
2	35	0	0
3	50	0	0
4	71	0	0
5	100	0	0
6	141	0	0
7	200	0	0
8	283	0	0
9	400	0	0
10	506	0	0
11	800	0	0
12	1131	0	0
13	1600	0	0
14	2263	0	0
15	3200	0	0
16	4525	0	0
17	6400	0	0
18	9051	5	5
19	12800	9	14
20	18102	10	21
21	25600	15	39
22	36204	16	55
23	51200	8	63
24	72408	4	67
25	102400	2	69
26	144815	3	72
27	204800	3	75
28	289600	1	76
29	409600	2	78
30	579300	1	79

Tabla 7. La columna 1 muestra el número de orden del anillo, la columna 2 muestra el límite superior del anillo en unidades astronómicas, la columna 3 muestra el número de binarias en cada anillo y la columna 4 muestra el número acumulado de binarias.

La figura 14 muestra la gráfica del logaritmo de la separación vs. el número acumulado de estrellas binarias (79 separaciones). En esta gráfica las + representan todos los puntos de la muestra; la línea continua es el ajuste de una recta en el plano hecho hasta el 50% de la población y la línea entrecortada representa el ajuste de una recta hecho hasta el 80% de la población. Los coeficientes de correlación obtenidos de los ajustes son 0.992 y 0.995 respectivamente.

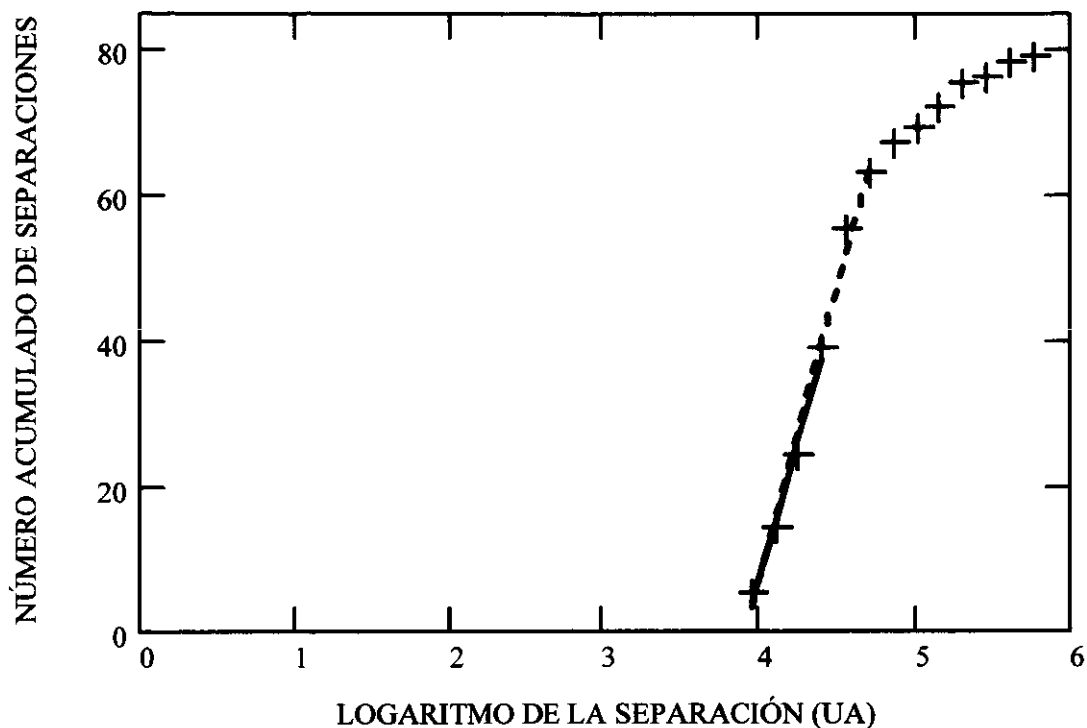


Figura 14. Gráfica del logaritmo (base diez) de la separación vs. número acumulado de separaciones de la muestra de binarias del CNO.

En la gráfica anterior se puede ver que el ajuste de la recta hecho hasta el 80% de la población (línea entrecortada) considera a todos los puntos que siguen un comportamiento lineal (ley de Öpik). De los datos obtenidos de dicho ajuste podemos ver que el coeficiente de correlación es muy bueno (0.995). Por lo tanto, tomaremos, para posteriores análisis, la separación máxima dada por este ajuste. En la sección 5.9 se hará un resumen de los datos obtenidos de la distribución de separaciones de esta muestra de binarias.

5.3 Análisis de la distribución de separaciones de 53 sistemas binarios del cúmulo de las Híadas.

Para llevar a cabo este análisis se utilizaron 53 probables binarias del cúmulo de las Híadas obtenidas mediante el método del vecino más cercano (Nigoche 1996, Herrera et al 1997). El procedimiento utilizado para calcular la distribución de separaciones fue igual al descrito en la sección anterior. Los resultados se muestran en la siguiente tabla (tabla 8).

Número de orden del anillo	Límite superior del anillo (UA)	Número de binarias en cada anillo.	Número acumulado de binarias.
1	25	0	0
2	35	0	0
3	50	0	0
4	71	1	1
5	100	1	2
6	141	1	3
7	200	1	4
8	283	3	7
9	400	1	8
10	506	4	12
11	800	2	14
12	1131	5	19
13	1600	0	19
14	2263	1	20
15	3200	3	23
16	4525	9	32
17	6400	3	35
18	9051	6	41
19	12800	3	44
20	18102	3	47
21	25600	2	49
22	36204	1	50
23	51200	0	50
24	72408	0	50
25	102400	3	53

Tabla 8. La columna 1 muestra el número de orden del anillo, la columna 2 muestra el límite superior del anillo en unidades astronómicas, la columna 3 muestra el número de binarias en cada anillo y la columna 4 muestra el número acumulado de binarias.

A continuación se presenta la gráfica del logaritmo de la separación vs. el número acumulado de estrellas binarias (53 separaciones) (Figura 15). En esta gráfica las + representan todos los puntos de la muestra, la línea continua es el ajuste de una recta en el plano hecho hasta el 50% de la población y la línea punteada representa el ajuste lineal hecho hasta el 80% de la población. La línea recta entrecortada es un ajuste sin los primeros 8 y sin los últimos 5 puntos de la muestra. Los coeficientes de correlación obtenidos de los ajustes son 0.986, 0.972 y 0.983 respectivamente.

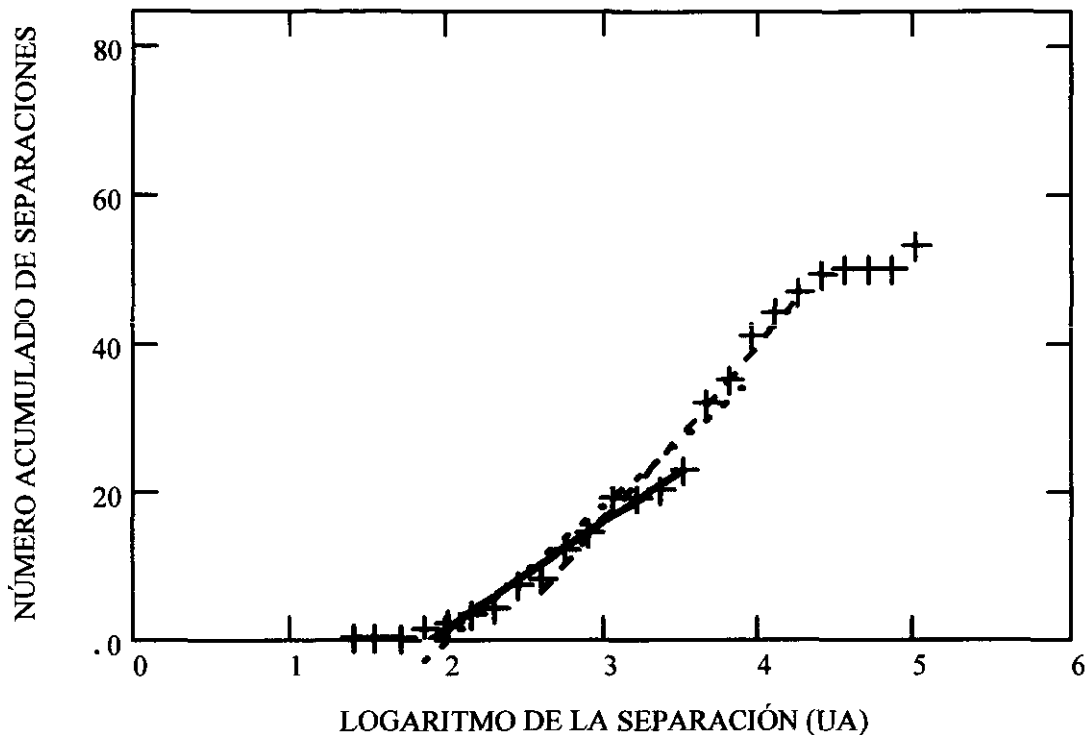


Figura 15. Gráfica del logaritmo (base diez) de la separación vs. número acumulado de separaciones de la muestra de binarias de las Híadas.

En la gráfica anterior pueden detectarse tres comportamientos lineales, sin embargo la línea recta entrecortada considera a estrellas binarias en un intervalo de separaciones en donde esperamos que la muestra sea completa (debido a que a la distancia a la que se encuentran las Híadas, las binarias con dichas separaciones deben poder resolverse). Por lo tanto, consideraremos, para análisis posteriores, la separación máxima dada por dicho ajuste. En la sección 5.9 se hace un resumen de los datos de la distribución de separaciones de las binarias de las Híadas.

5.4 Muestra de estrellas binarias y múltiples de la vecindad solar.

En 1994 A. Poveda y colaboradores publican un catálogo de estrellas binarias y múltiples de la vecindad solar. Dicho catálogo contiene 305 sistemas binarios, 26 triples y 3 cuádruples cuya distancia al Sol es menor o igual que 22.5 pc y con separaciones mutuas mayores que 25 UA. El catálogo proporciona, entre otras cosas, la clasificación de todos los sistemas en dos grupos de edad: el grupo de los sistemas probablemente jóvenes (PYS) y el grupo de los sistemas probablemente viejos (POS). Entre las 305 binarias encuentran 211 POS y 94 PYS, y entre las 29 múltiples 12 POS y 17 PYS.

Posteriormente A. Poveda y colaboradores (1997) hacen un análisis de los criterios de asignación de edad publicados en el catálogo y proporcionan una muestra más depurada de sistemas jóvenes y viejos en la vecindad solar (sistemas con un mayor contraste en edad). En este estudio incluyeron nuevos criterios de asignación de edad e hicieron un análisis más detallado de aquellos elementos que presentaban inconsistencias o contradicciones en dichos criterios. La muestra de estrellas binarias y múltiples más jóvenes de la vecindad solar, dada por A. Poveda y colaboradores, está constituida por 36 sistemas (47 separaciones y 83 estrellas), de los cuales 26 son binarias, 9 triples y 1 cuádruple, mientras que la muestra de binarias y múltiples más viejas esta constituida por 87 sistemas (93 separaciones y 180 estrellas) de los cuales 81 son binarias y 6 son triples. Este trabajo incluye las dos muestras anteriores.

5.5 Distribución de separaciones de los 36 sistemas dobles y múltiples más jóvenes de la vecindad solar.

Para hacer la distribución de separaciones de la muestra de estrellas binarias y múltiples más jóvenes de la vecindad solar, se siguió el procedimiento utilizado para los sistemas binarios del CNO. Los resultados obtenidos están dados en la siguiente tabla (tabla 9)

Número de orden del anillo	Límite superior del anillo (UA)	Número de binarias en cada anillo.	Número acumulado de binarias.
1	25	0	0
2	35	2	2
3	50	2	4
4	71	2	6
5	100	6	12
6	141	3	15
7	200	2	17
8	283	2	19
9	400	3	22
10	506	2	24
11	800	4	28
12	1131	1	29
13	1600	2	31
14	2263	4	35
15	3200	2	37
16	4525	2	39
17	6400	2	41
18	9051	1	42
19	12800	0	42
20	18102	1	43
21	25600	1	44
22	36204	0	44
23	51200	0	44
24	72408	2	46
25	102400	0	46
26	144815	0	46
27	204800	0	46
28	289600	0	46
29	409600	0	46
30	579300	1	47

Tabla 9. La columna 1 muestra el número de orden del anillo, la columna 2 muestra el límite superior del anillo en unidades astronómicas, la columna 3 muestra el número de binarias en cada anillo y la columna 4 muestra el número acumulado de binarias.

La figura 16 muestra la gráfica del logaritmo de la separación vs. el número acumulado de separaciones. En esta gráfica las + representan todos los puntos de la muestra, la línea continua es el ajuste de una recta en el plano hecho hasta el 50% de la población y la línea recta entrecortada representa el ajuste hecho hasta el 80% de la población. Los coeficientes de correlación obtenidos de los ajustes son 0.991 y 0.997 respectivamente.

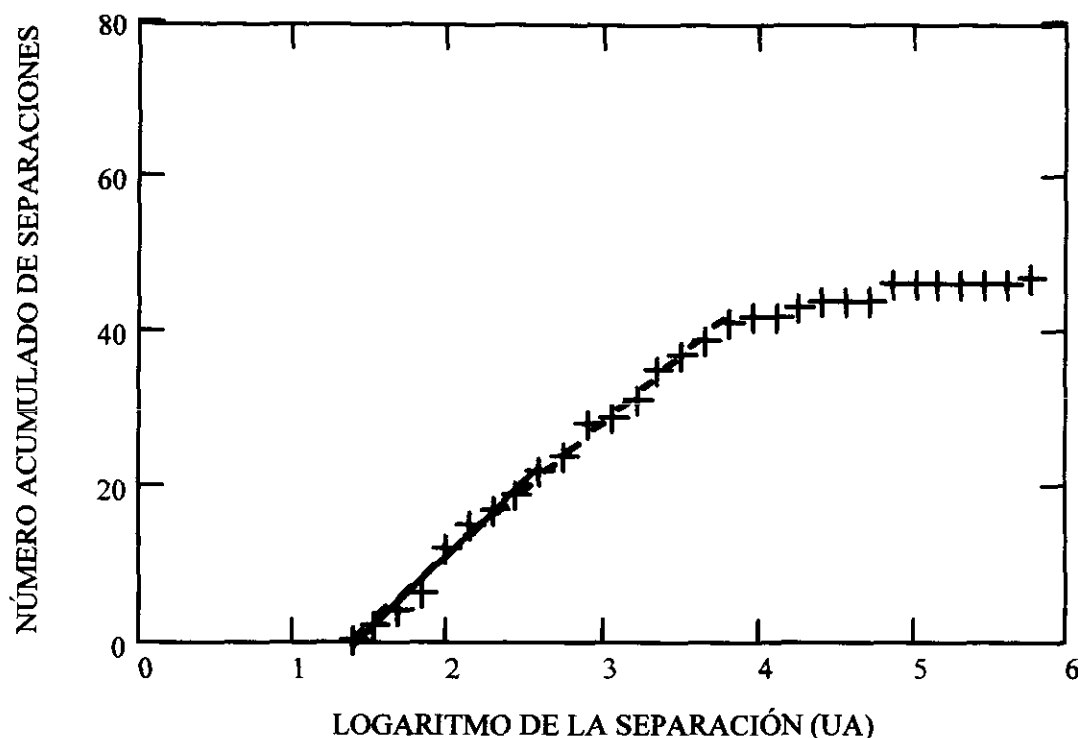


Figura 16. Gráfica del logaritmo (base diez) de la separación vs número acumulado de separaciones de la muestra de binarias y múltiples jóvenes de la vecindad solar.

En la gráfica anterior se puede ver que el ajuste de la recta hecho hasta el 80% de la población (línea entrecortada) considera a todos los puntos que siguen un comportamiento lineal (ley de Öpik). De los datos obtenidos de dicho ajuste podemos ver que el coeficiente de correlación es muy bueno (0.997). Por lo tanto, tomaremos, para posteriores análisis, la separación máxima dada por este ajuste. En la sección 5.9 se hará un resumen de los datos obtenidos de la distribución de separaciones de esta muestra de binarias.

5.6 Distribución de separaciones de los 87 sistemas dobles y múltiples más viejos de la vecindad solar.

Para llevar a cabo la distribución de separaciones de la muestra de estrellas binarias y múltiples más viejas de la vecindad solar, se siguió el procedimiento utilizado para los sistemas binarios del CNO. Los resultados obtenidos están dados en la siguiente tabla (tabla 10)

Número de orden del anillo	Límite superior del anillo (U.A.)	Número de binarias en cada anillo.	Número acumulado de binarias.
1	25	0	0
2	35	2	2
3	50	7	9
4	71	10	19
5	100	7	26
6	141	7	33
7	200	3	36
8	283	6	42
9	400	7	49
10	506	6	55
11	800	8	63
12	1131	4	67
13	1600	5	72
14	2263	5	77
15	3200	2	79
16	4525	4	83
17	6400	1	84
18	9051	2	86
19	12800	1	87
20	18102	2	89
21	25600	0	89
22	36204	2	91
23	51200	0	91
24	72408	1	92
25	102400	0	92
26	144815	0	92
27	204800	1	93

Tabla 10. La columna 1 muestra el número de orden del anillo, la columna 2 muestra el límite superior del anillo en unidades astronómicas, la columna 3 muestra el número de binarias en cada anillo y la columna 4 muestra el número acumulado de binarias.

La figura 17 muestra la gráfica del logaritmo de la separación vs. el número acumulado de separaciones. En esta gráfica las + representan todos los puntos de la muestra, la línea continua es el ajuste de una recta en el plano hecho hasta el 50% de la población y la línea recta entrecortada representa el ajuste hecho hasta el 80% de la población. Los coeficientes de correlación obtenidos de los ajustes son 0.994 y 0.997 respectivamente.

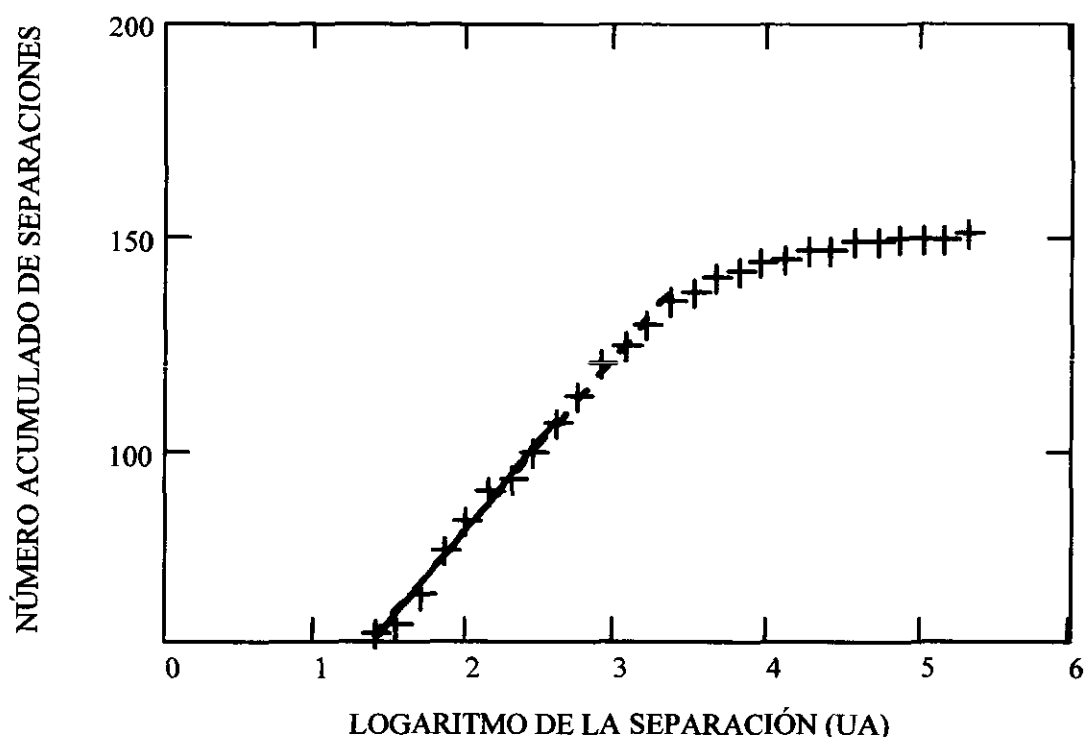


Figura 17. Gráfica del logaritmo (base diez) de la separación vs. número acumulado de separaciones de la muestra de estrellas binarias y múltiples viejas de la vecindad solar.

En la gráfica anterior se puede ver que el ajuste de la recta hecho hasta el 80% de la población (línea entrecortada) considera a todos los puntos que siguen un comportamiento lineal (ley de Öpik). De los datos obtenidos de dicho ajuste podemos ver que el coeficiente de correlación es muy bueno (0.997). Por lo tanto, tomaremos, para posteriores análisis, la separación máxima dada por este ajuste. En la sección 5.9 se hará un resumen de los datos obtenidos de la distribución de separaciones de esta muestra de binarias.

5.7 Técnica para la corrección de incompletez de las distintas muestras de binarias.

De las gráficas correspondientes a las muestras de binarias en estudio, podemos suponer que la parte "lineal", hasta donde se pierde la relación de Öpik, implica completez. De aquí podemos encontrar una cota inferior para el número total de binarias, desplazando y extrapolando la parte lineal de tal manera que su ordenada al origen sea cero y que su abscisa sea de 50 U.A., esto último es porque sabemos que la distribución de separaciones de binarias cerradas (separación menor que 25-50 U.A.) no obedece la distribución de Öpik debido a que el proceso de formación de tales binarias es distinto (Abt y Levy 1976, Poveda et al, 1994, Allen et al. 1997). Así, el número de binarias buscado está dado por la ordenada correspondiente al último punto de la parte lineal (separación máxima). En la siguiente sección se presentarán los resultados obtenidos de la aplicación de esta técnica a las distintas poblaciones de binarias estudiadas anteriormente.

5.8 Distribución de separaciones corregida para los distintos grupos de estrellas binarias.

Como vimos en la sección 5.3, las muestras de estrellas binarias y múltiples de la vecindad solar (jóvenes y viejas) son cuasi-completas para separaciones mayores a 25 UA (Poveda et al. 1996). Por lo tanto, no es necesario corregir sus distribuciones de separaciones. En el caso de las binarias de las Híadas se puede detectar una incompletez para separaciones menores o iguales a 300 UA, mientras que para el caso del CNO es evidente una incompletez para separaciones menores que 7500 UA. Por lo que es necesario corregir las dos muestras anteriores en el intervalo 50-300 UA y 50-7500 UA respectivamente.

La Figura 18 muestra la distribución de separaciones corregida para las estrellas **binarias del cúmulo de las Híadas**. El símbolo "+" representa la muestra original de binarias, la línea continua es el ajuste de Öpik a la parte cuasi-completa de la muestra y la línea entrecortada es la extrapolación del ajuste anterior.

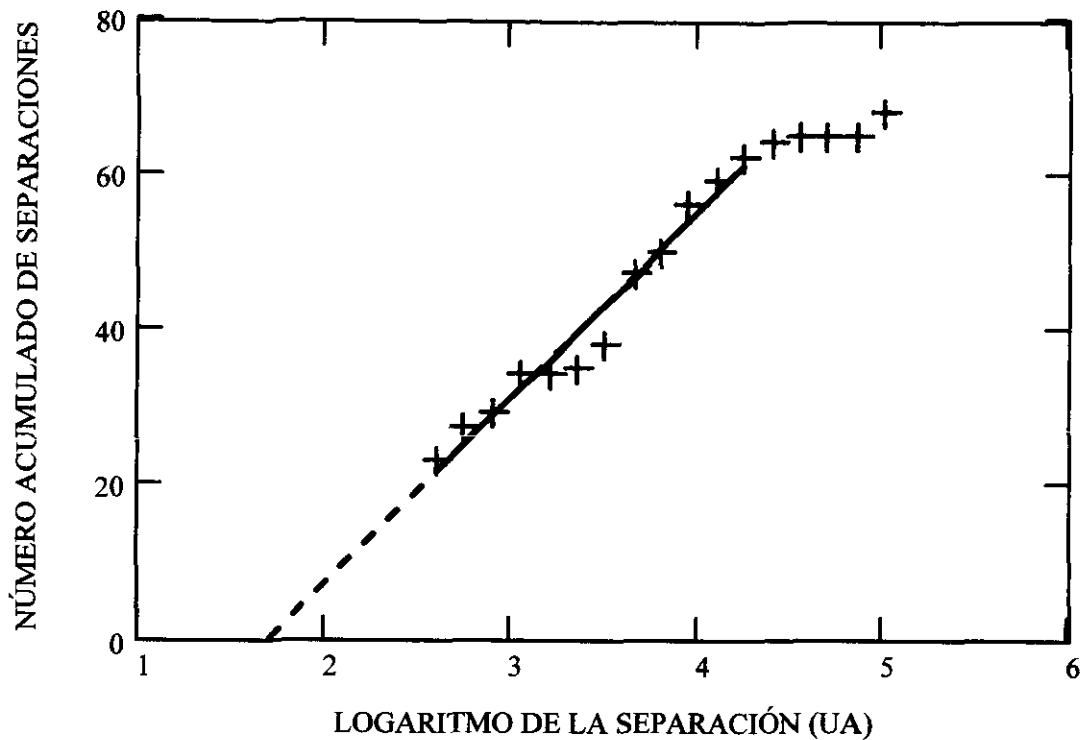


Figura 18. Distribución de separaciones corregida para las estrellas binarias del cúmulo de las Híadas.

La **cota inferior** para el número total de binarias que se obtiene de la gráfica anterior es de **62 ± 8** .

La Figura 19 muestra la distribución de separaciones corregida para las estrellas binarias del cúmulo de la Nebulosa de Orión. El símbolo "+" representa la muestra original de binarias, la línea continua es el ajuste de Öpik a la parte cuasi-completa de la muestra y la línea entrecortada es la extrapolación del ajuste anterior.

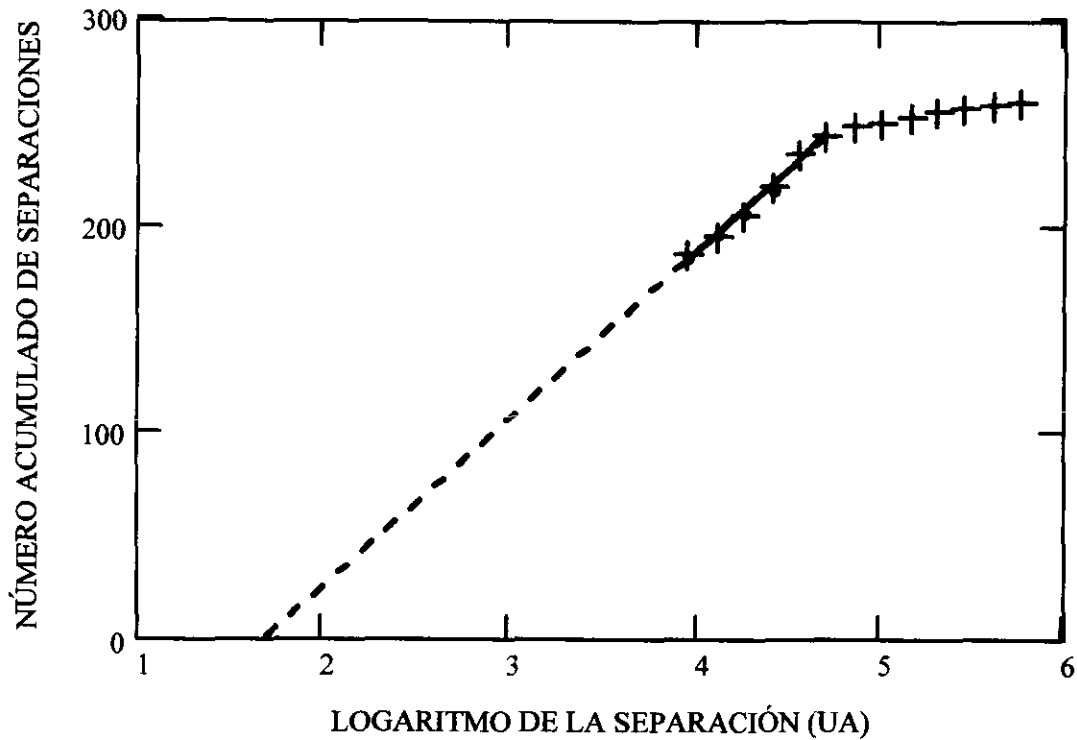


Figura 19. Distribución de separaciones corregida para las estrellas binarias del cúmulo de la Nebulosa de Orión.

La **cota inferior** para el número total de binarias que se obtiene de la gráfica anterior es de 244 ± 16 .

5.9 Comparación de la distribución de separaciones de estrellas binarias y múltiples en grupos de distintas edades.

En la literatura podemos encontrar la edad asignada a cada uno de los grupos de estrellas que estamos considerando. En el caso de las estrellas viejas de la vecindad solar la edad promedio es de 7×10^9 años (Poveda et al. 1994). Para las estrellas jóvenes de la vecindad solar, la edad promedio es de 2.5×10^9 años (Poveda et al. 1994), mientras que en el caso del cúmulo de las Híadas la edad más reciente encontrada es de 6.25×10^8 años (Perryman et al. 1998). Finalmente, para el CNO la edad promedio es de 1×10^6 años (Prosser et al. 1994, Hillenbrand et al. 1998).

Al analizar los datos de las muestras de binarias en estudio y las gráficas que muestran su distribución de separaciones, nos damos cuenta que existen diferencias significativas. A continuación presentamos una tabla con algunas de las diferencias más importantes (tabla 11).

	BINARIAS DEL CNO	BINARIAS DE LAS HÍADAS	BINARIAS Y MÚLTIPLES MÁS JÓVENES VECINDAD SOLAR	BINARIAS Y MÚLTIPLES MÁS VIEJAS VECINDAD SOLAR
Separación máxima en la muestra del 50% de las binarias más estrechas (antes de corregir por incompletez)	26013 UA	3871 UA	292 UA	315 UA
Separación máxima en la muestra del 80% de las binarias más estrechas (antes de corregir por incompletez)	45056 UA	9455 UA	6067 UA	1830 UA
Separación máxima hasta donde se pierde la relación de Öpik	51200 UA	18102 UA	7800 UA	2400 UA
Cota inferior del número total de binarias	244	62	36	87
Edad promedio del grupo	1×10^6 años	6.25×10^8 años	2.5×10^9 años	7×10^9 años

Tabla 11. Resultados importantes obtenidos de los datos y de las gráficas de las distintas poblaciones de binarias.

5.9.1 Evolución temporal de la distribución de separaciones de binarias.

La figura 20 presenta la gráfica de la edad del grupo estelar vs. la separación máxima (hasta donde se pierde la relación de Öpik) de las binarias del grupo estelar. Las binarias del CNO están representadas por el símbolo "O", las de las Híadas, por el símbolo "X", las binarias y múltiples jóvenes de la vecindad solar, por el símbolo "□" y las binarias y múltiples viejas de la vecindad solar, por el símbolo "+". La línea continua es un ajuste a los cuatro datos anteriores con un coeficiente de correlación de 0.9071.

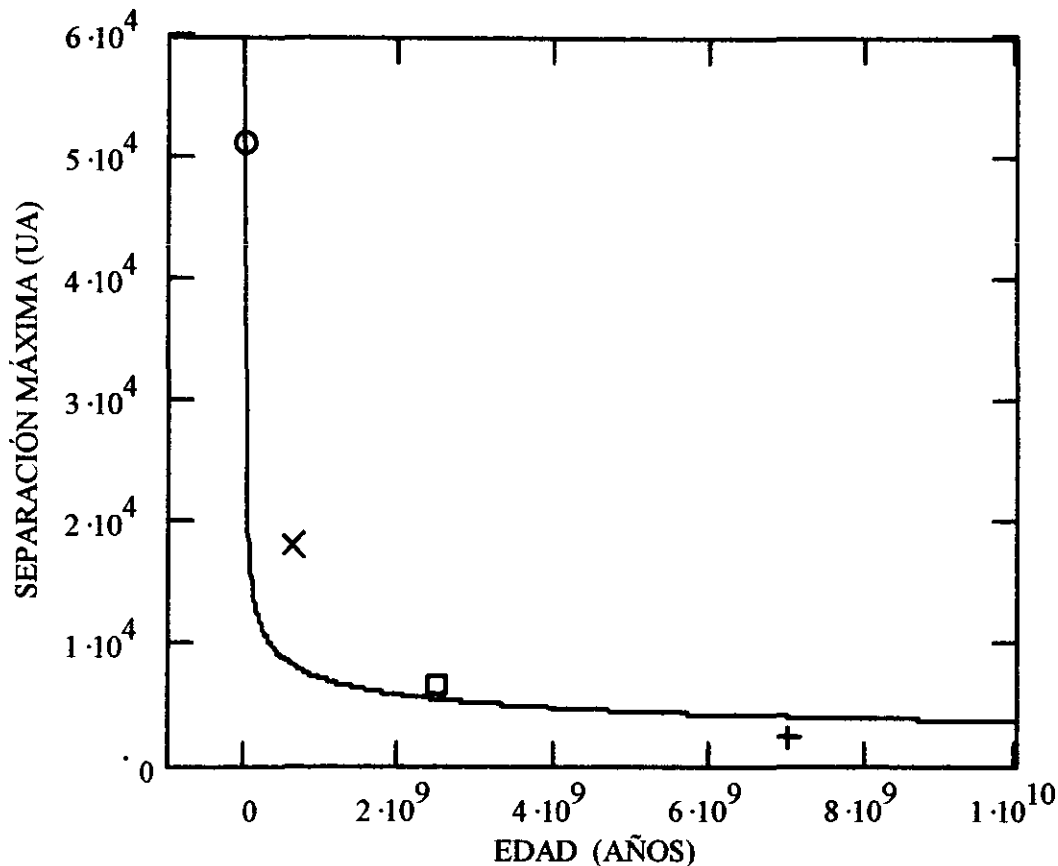


Figura 20. Edad del grupo estelar vs. Separación máxima encontrada entre las binarias del grupo estelar (CNO, Híadas, jóvenes de la vecindad solar y viejas de la vecindad solar).

La ecuación obtenida del ajuste anterior es:

$$S(t) = 4 \times 10^6 t^{-0.3061} \quad (41)$$

donde $S(t)$ es la separación máxima en UA y t , el tiempo en años.

En la gráfica anterior puede verse la evolución temporal de las separaciones de las binarias en los distintos grupos. De esta se deduce que existe una "evaporación" muy rápida de las binarias más separadas ($\text{sep.} > 10000 \text{ UA}$) en los primeros millones de años de vida de un grupo estelar, mientras que las binarias con separaciones menores o iguales que $10\,000 \text{ UA}$ van "evaporándose" lentamente aun cuando la edad del grupo al que pertenecen aumente considerablemente.

De todo lo visto anteriormente es evidente que la separación máxima de las binarias y múltiples de la vecindad solar es mucho menor que la separación máxima de las binarias de las Híadas y del CNO. Esto puede deberse a varios motivos: primero, las muestras de estrellas binarias de las Híadas y del CNO están sesgadas hacia separaciones grandes (aunque esto no afecta la separación máxima observada); esto sucede porque, debido a limitaciones instrumentales, las estrellas binarias con separaciones pequeñas no se pueden "resolver" a tales distancias y, segundo, porque en las muestras de estrellas viejas sólo quedan aquellas binarias cuya separación es pequeña (separaciones menores o iguales que 10000 UA). Esto último refuerza la hipótesis de que en una muestra de estrellas viejas sólo existen sistemas binarios con separaciones pequeñas porque las binarias que nacieron muy separadas se "disolvieron" al paso del tiempo debido a interacciones gravitacionales con otros objetos (lo cual se puede ver en la figura 20).

Finalmente, si aceptamos la edad asignada al cúmulo de la nebulosa de Orión (Hillenbrand 1997, Prosser 1994), podemos afirmar que la distribución de separaciones de sus estrellas binarias abiertas corresponde a la distribución primordial, es decir, a la distribución de separaciones con la que nacen todos los sistemas binarios abiertos de estrellas.

CONCLUSIONES

Hemos visto en el capítulo I una visión clara y a gran escala del complejo de Orión. Desde el "Barnard's Loop" que contiene a las nubes moleculares A y B, pasando por el CNO y las nebulosas brillantes M42 y M43 hasta la región interna del CNO que contiene al trapecio, las estrellas de baja masa y los "Proplyds". También hemos compilado un catálogo de 769 estrellas con alta probabilidad de pertenecer al CNO mediante una exhaustiva investigación de la nube molecular A. Con una visión a gran escala y datos mejorados de estrellas del CNO hemos logrado obtener resultados muy interesantes. A continuación se listan los resultados más relevantes y originales producto de esta investigación.

En el capítulo II presentamos una ley de densidad para cúmulos estelares desarrollada por I. King en 1962, la cual aplicamos al CNO para obtener los parámetros que lo caracterizan. Nuestro ajuste se hizo con el método de mínimos cuadrados, lo cual nos da la certeza de que los parámetros obtenidos de esta manera son los más confiables. Cabe resaltar que este es el primer trabajo en el que se hace un estudio a gran escala del CNO y del que se ha logrado obtener el radio de marea y radio del núcleo. El ajuste obtenido por nuestro método, como hemos visto antes, proporciona un radio de marea de aproximadamente 21 pc (2.56°), el cual es un poco menor que el de la nube molecular A, pero congruente con su estructura.

En el capítulo III explicamos en detalle el método del vecino más cercano y su aplicación para la búsqueda de binarias en un cúmulo estelar. También hicimos simulaciones numéricas de cúmulos estelares para poder encontrar criterios de selección que hicieran más efectiva la búsqueda de binarias en el cúmulo de la Nebulosa de Orión. Particularmente, el criterio de los 3/10 de la separación promedio resultó ser una útil herramienta de selección, pues con él fue posible encontrar, en los cúmulos simulados con 50% de binarias, un gran porcentaje de binarias reales ($\approx 93\%$), y un porcentaje relativamente pequeño de binarias espúreas u ópticas ($\approx 7\%$).

En el capítulo IV aplicamos el método del vecino más cercano, así como también el criterio de los 3/10 de la separación promedio para encontrar los más probables sistemas ligados de estrellas del CNO. Lo anterior dio como resultado un catálogo de 158 estrellas las cuales

constituyen 79 pares con alta probabilidad de estar ligados gravitacionalmente. Es importante mencionar que ninguno de los 79 pares de estrellas está reportado como binario en la literatura y, por lo tanto, son una aportación valiosa de este trabajo.

Finalmente, en el capítulo V estudiamos la distribución de separaciones de las estrellas binarias encontradas en el cúmulo de la Nebulosa de Orión y comparamos con la distribución de separaciones de las muestras de estrellas jóvenes y viejas de la vecindad solar y con la distribución de separaciones de las binarias del cúmulo de las Híadas. Esta comparación dio resultados interesantes. Por ejemplo, nos dimos cuenta de que la separación de las binarias de la muestra de estrellas viejas es mucho menor que la separación de las binarias del cúmulo de las Híadas y del CNO. De la gráfica de la edad de los grupos vs. la separación máxima de las binarias registradas dentro de cada uno de ellos, se infiere que existe una clara tendencia hacia la "evaporación" de las binarias más separadas durante los primeros millones de años de vida del grupo estelar, mientras que las binarias con separación pequeña (menor o igual que 10 000 UA) pueden existir durante casi todo el tiempo de vida del grupo. Este resultado es muy importante y viene a reforzar la hipótesis de que en una muestra de estrellas sólo sobreviven al paso del tiempo aquellas binarias cuya separación ha sido suficientemente pequeña para evitar que el encuentro con otros objetos las haya disuelto. También, mediante una técnica de corrección de incompletez para muestras de binarias, encontramos que en el CNO existen, al menos, 244 binarias; en el caso de las Híadas, la cota inferior es de 62 binarias, mientras que para las muestras de estrellas jóvenes y viejas de la vecindad solar no fue necesario hacer la corrección pues sabemos que la muestras utilizadas son cuasi-completas para separaciones mayores que 25 UA (Poveda et al 1994).

Debido a su cercanía, el cúmulo de la Nebulosa de Orión es uno de los "laboratorios" más accesibles para el estudio de la evolución y dinámica estelar. Si aceptamos que su edad es de unos cuantos millones de años, como sugieren distintos autores (Prosser et al 1994, Hillenbrand et al 1998), y que la muestra de binarias que obtuvimos es completa para separaciones grandes (> 7500 UA), entonces esta distribución de separaciones sería la distribución primordial, es decir, el espectro de separaciones con el cual nacen los grupos de estrellas binarias abiertas.

APENDICES.

A. Catálogo de estrellas del cúmulo de la nebulosa de Orión (Unión de los catálogos de Parsamian-Chavira y de Kholopov).

A continuación se presenta el catálogo de las 769 estrellas del cúmulo de la nebulosa de Orión. En la primera columna se da el nombre de estrella variable o el número de Tonantzintla, en las siguientes 6 columnas se dan las coordenadas de las estrellas en época 2000, en la columna 8 se da la magnitud en el máximo de variabilidad, en la columna 9 se da la magnitud en el mínimo de variabilidad y finalmente en la columna 10 se da el filtro en que fue medida la magnitud (P es la magnitud fotográfica, U, B, V, I son las magnitudes en el sistema de Johnson).

Nombre	Hrs	AR Min	Seg	Gra	Dec Min	Seg	M (Max)	M (Min)	Filtro
1	5	27	14.96	3	37	2.46			
2	5	27	12.05	6	59	54.19			
3	5	27	48.18	5	16	33.18			
4	5	28	21.97	6	25	55.64			
5	5	28	17.11	7	37	5.46			
6	5	28	19.41	7	36	26.15			
7	5	28	39.81	6	7	37.13			
8	5	29	0.85	4	41	32.57			
9	5	29	4.41	7	44	25.24			
10	5	29	28.46	7	46	36.81			
11	5	29	54.83	7	37	8.75			
12	5	29	57.1	7	32	49.72			
14	5	30	45.87	7	24	57.96			
15	5	31	9.05	6	32	14.29			
16	5	31	9.48	6	52	15.06			
17	5	31	30.92	6	8	41.97			
18	5	31	50.89	7	8	52.1			
20	5	32	4.4	3	5	29.11			
22	5	32	10.74	5	19	34.71			
23	5	32	10.54	5	22	5.92			
24	5	32	10.94	5	24	34.14			
26	5	32	14.75	6	20	54.28			
27	5	32	18.67	5	13	38.8			
28	5	32	25.6	3	43	13.74			
29	5	32	24.94	7	40	51.4			
30	5	32	19.78	5	36	53.7			
31	5	32	33.74	4	44	11.1			
32	5	32	32.91	6	8	53.35			
33	5	32	43.35	5	35	57.36			
34	5	32	44.61	5	53	23.64			
35	5	32	45.25	5	38	14.69			
37	5	32	50.78	6	10	1.01			
38	5	32	52.04	5	55	1.97			
41	5	33	8.7	4	53	26.08			

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
42	5	33	7.24	4	56	34.58			
44	5	33	22.13	4	42	53.46			
47	5	33	23.65	6	9	33.36			
49	5	33	25.46	6	6	33.65			
50	5	33	23.66	6	9	33.25			
52	5	33	28.06	5	24	25.57			
56	5	33	32.14	5	33	32.9	14.5	14.9	P
57	5	33	35.63	5	9	23.09			
58	5	33	31.71	6	24	16.3			
62	5	33	38.48	5	13	12.29			
65	5	33	42.01	6	14	2			
66	5	33	41.85	6	15	48.55			
74	5	33	46.37	5	57	12.54			
79	5	34	0.18	4	17	42.52			
85	5	34	0.31	4	36	14.71			
86	5	34	4.38	4	36	6.16			
89	5	34	1.66	5	46	51.11			
90	5	34	2.82	5	49	44.08			
95	5	34	8.27	5	55	47.11			
96	5	34	8.1	5	49	22.82			
99	5	34	37.92	5	55	25.47			
104	5	34	16.38	5	36	45.55			
109	5	34	20.6	4	35	1.56	15.3	17.5	P
115	5	34	25.47	4	56	55.13			
117	5	34	26.42	5	1	0.82			
120	5	34	30.58	4	35	52.9			
121	5	34	29.95	4	49	50.91			
123	5	34	29.53	5	3	6.96			
125	5	34	29.52	5	47	24.64	14.4	15.3	P
135	5	34	40.39	4	57	39.48			
136	5	34	38.46	5	47	34.85			
140	5	34	40.9	5	45	17.3			
142	5	34	44.8	4	56	40.63			
148	5	34	44.88	5	6	49.46			
150	5	34	46.19	6	37	13.38			
155	5	34	53.32	4	57	32.53			
163	5	34	56.15	6	4	16.84			
167	5	34	55.99	5	0	53.4			
185	5	35	1.59	4	32	52.53			
191	5	35	5.6	4	58	53.4			
216	5	35	10.87	6	13	24.76			
223	5	35	12.99	6	14	46.64			
225	5	35	17.73	6	24	37.52			
231	5	35	17.82	5	42	34.21	13.8	14.1	P
237	5	35	15.61	7	54	46.1			
248	5	35	18.86	6	27	25.06			
253	5	35	22.71	6	12	4.6			
259	5	35	49.4	3	32	51.69			
264	5	35	26.64	6	15	33.04			
275	5	35	28.98	6	44	14.92			
278	5	35	30.49	6	12	7.8			
282	5	35	34.09	6	22	57.33			
284	5	35	36.35	4	16	19.53			
285	5	35	31.73	6	6	29.06			
293	5	35	40.46	4	35	18.86			

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
296	5	35	37.27	6	23	26.01			
297	5	35	38.44	4	59	41.01			
307	5	35	48.14	4	13	11.62			
308	5	35	42.76	6	21	43.94			
309	5	35	42.84	5	20	13.44			
311	5	35	46.01	6	12	22.58			
315	5	35	43.02	5	13	20.07	16.5	17.7	P
317	5	35	48.9	5	1	38.84	16.5		P
333	5	35	51.94	6	10	1.37			
336	5	35	54.08	5	37	42.41			
337	5	35	58.53	4	29	23.92			
339	5	35	57.02	5	30	8.21			
343	5	35	57.76	6	23	44.03			
344	5	35	56.88	6	29	37.62			
347	5	35	57.6	6	38	12.67			
350	5	35	58.86	5	59	7.91			
351	5	35	59.66	6	16	5.93			
352	5	36	6.81	4	20	37.45			
353	5	36	6.75	4	28	7.78			
355	5	36	5.05	4	51	3.83	16.5	17.2	P
357	5	36	6.32	4	41	53.59			
358	5	36	5.47	4	48	54.1			
361	5	36	9.19	4	50	0.74			
363	5	36	7.2	5	40	21.59			
366	5	36	4.91	6	46	40.82			
368	5	36	9.16	5	36	38.38			
370	5	36	9.1	5	51	2.12			
372	5	36	10.24	5	42	26.6			
373	5	36	14.12	4	21	35.7			
374	5	36	14.52	4	22	47.5			
376	5	36	10.86	5	39	48.76			
379	5	36	12.41	5	40	44.79			
380	5	36	14.68	6	13	16			
382	5	36	15.76	6	14	50.3			
384	5	36	16.13	6	5	22.78			
385	5	36	19.65	5	14	38.65	16.5	17.5	P
386	5	36	21.66	5	5	52.96			
387	5	36	19.6	5	48	23.03			
389	5	36	23.75	6	23	11.22			
392	5	36	27.24	5	46	42.1			
393	5	36	26.05	6	8	3.44			
396	5	36	29.67	5	20	6.59			
397	5	36	29.34	6	15	44.52			
398	5	36	27.62	6	23	11.4			
402	5	36	30.5	6	8	26.26			
403	5	36	33.61	5	57	53.08			
404	5	36	32.79	6	12	37.44			
406	5	36	35.94	5	11	34.95			
409	5	36	38.71	5	55	26.28			
411	5	36	47.12	5	22	49.29			
412	5	36	41.27	6	33	59.71			
413	5	36	40.33	6	13	32.86			
414	5	36	47.49	5	36	30.85			
415	5	36	43.88	5	58	31.47			
416	5	36	40.46	6	10	32.68			

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
417	5	36	56.13	5	59	1.56			
418	5	36	56.93	5	58	30.24			
419	5	36	51.16	4	25	39.62			
420	5	36	45.12	6	28	8.94			
422	5	36	50.07	6	41	28.71		17.5	P
423	5	37	1.33	4	19	9.54			
424	5	36	54.2	6	19	44.77			
428	5	37	7.22	5	24	1.74			
429	5	37	7.59	5	52	54.56			
430	5	37	14.39	7	3	22.49			
431	5	37	13.93	7	3	40.4			
433	5	37	18.33	5	43	52.34			
434	5	37	21.46	5	18	17.17			
436	5	37	22.79	6	44	45.92			
437	5	37	30.62	6	56	5.65			
438	5	37	27.73	6	46	38.97			
440	5	37	32.36	6	39	4.19			
443	5	37	38.99	5	8	39.91			
444	5	37	42	5	4	22.29			
445	5	37	41.56	6	42	54.98			
446	5	37	49.81	4	25	56.57			
447	5	37	50.13	4	26	16.4			
448	5	37	44.41	6	50	36.21	15.9	17.0	P
449	5	36	49.42	7	57	43.98			
450	5	37	49.46	6	56	27.35			
452	5	37	53.43	6	58	14.85			
454	5	37	49.06	6	45	14.74			
455	5	37	54.6	6	54	6.68			
456	5	37	54.43	6	56	45.28			
457	5	37	58.73	6	43	32.7			
458	5	37	59	6	58	45.45			
460	5	38	7.16	5	1	18.01			
461	5	38	5.97	6	29	50.93			
462	5	38	4.1	7	22	3.81			
464	5	38	10.11	6	25	26.3			
465	5	38	10.55	6	22	8.35			
466	5	38	9.1	7	5	25.37			
467	5	38	21.49	6	58	8.96			
468	5	38	25.68	5	22	10.88			
469	5	38	30.12	4	2	46.3	14.6	15.9	P
470	5	38	23.83	7	7	38.28			
471	5	38	32.75	4	1	47.98			
472	5	38	25.96	7	37	58.45			
474	5	38	27.13	6	47	57.48			
476	5	38	28.87	6	4	16.31			
477	5	38	29.33	6	25	40.12			
478	5	38	30.02	6	39	41.01			
479	5	38	35.8	5	0	23.6			
480	5	38	31.91	6	52	38.55			
481	5	38	35.14	7	50	18.84			
482	5	38	36.56	7	46	33.57			
483	5	38	39.99	6	59	13.87			
485	5	38	41.9	6	53	18.51			
486	5	38	49.4	4	51	8.18			
487	5	38	47.81	7	44	31.89			

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
488	5	38	49.96	7	20	17.81		19.3	P
489	5	38	52.29	7	21	8.88		17.7	P
491	5	38	56.97	6	52	58.88			
493	5	39	9.32	5	34	27.34			
494	5	39	8.22	7	45	27.1			
495	5	39	11.77	7	23	9.15			
496	5	39	15.14	6	44	2.79			
497	5	39	22.3	7	26	44.31			
498	5	39	34.12	4	12	59.7			
499	5	39	35.16	4	36	14.61			
500	5	39	36.29	7	43	50.01			
501	5	39	38.48	7	28	14.68			
502	5	39	38.03	7	42	48.45			
503	5	40	4.71	4	37	32.84			
504	5	40	4.99	6	29	24.3			
505	5	40	5.65	6	27	56.28			
506	5	40	5.39	6	21	38.98			
507	5	40	8.05	5	14	29.54			
508	5	40	6.21	7	47	43.88			
509	5	40	8.85	6	43	19.29			
511	5	40	11.13	7	9	52.13			
513	5	40	20.34	7	25	53.54			
514	5	40	25.59	7	5	36.77			
515	5	40	24.91	8	7	32.25			
516	5	40	30.13	7	6	44.5			
517	5	40	40	6	31	49.47			
518	5	40	46.79	8	4	53.67			
519	5	40	45.08	7	22	24.79			
521	5	41	6.96	7	47	15.35			
522	5	41	18.5	7	26	21			
523	5	41	25.26	8	5	53.81			
525	5	41	33.18	7	55	1.69			
526	5	41	34.67	7	52	39.43			
527	5	41	49.67	8	0	31.52			
528	5	42	4.92	6	23	50.05			
529	5	42	26.39	7	58	48.81			
530	5	42	44.04	8	6	25.47			
531	5	42	55.83	7	18	37.58			
532	5	42	58.3	8	1	1.43			
533	5	43	1.71	8	4	49.59			
534	5	43	23.38	8	6	53.76			
RX ORI	5	29	14.01	6	6	31.45	13.7	19	B
RY ORI	5	32	9.83	2	49	46.91	10.8	13.9	P
RZ ORI	5	33	33.82	5	11	56.4	15.3	17.6	B
SS ORI	5	33	32.73	6	18	37.18	14.1	17.8	P
ST ORI	5	33	45.29	6	40	34.17	15.2	17.5	P
SU ORI	5	33	55.7	4	47	49.33	14.2	17.4	P
SV ORI	5	33	58.31	6	36	16.23	11.3	19.7	U
SW ORI	5	34	15.67	6	36	4.64	13.1	16.1	P
SY ORI	5	35	9.54	4	27	36.22	13.57	16.5	B
TT ORI	5	35	17.18	4	45	42.79	13.3	16.3	P
TV ORI	5	35	6.31	5	1	14.59	13.5	15.9	P
TW ORI	5	35	30.88	6	45	18.44	14.7	16.8	P
TY ORI	5	38	34.49	2	44	3.66	14.8	15.8	P
TZ ORI	5	39	45.34	3	18	17.24	14	15.6	P

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
UZ ORI	5	32	46.86	5	39	42.44	15	17.4	B
VW ORI	5	33	21.24	5	21	34.43	15.7	16.8	P
VX ORI	5	33	33.85	4	43	46	15	16.6	P
VY ORI	5	33	35.47	5	1	32.35	14.9	17.1	B
VZ ORI	5	33	45.15	5	30	49.3	13.5	15.7	B
WW ORI	5	34	2.91	5	36	56.4	13.3	17.5	P
XX ORI	5	34	36.06	6	5	34.5	14.2	17.1	B
XY ORI	5	34	41.08	5	46	11.39	14.8	18	P
XZ ORI	5	34	45.7	5	10	46.57	14.8	17	P
YY ORI	5	34	47.77	5	57	58.69	13.2	15.7	P
YZ ORI	5	34	52.83	5	3	29.04	13.9	16.6	P
ZZ ORI	5	34	54.99	5	46	47.25	14.5	16.4	P
AA ORI	5	35	10	5	46	30.34	13.8	15.9	P
AB ORI	5	35	14.06	5	43	18.61	13.8	16.5	P
AG ORI	5	35	21.12	5	34	43.08	13.4	16.8	B
AI ORI	5	35	27.69	5	11	7.58	13.5	16.3	P
AL ORI	5	35	30.99	4	55	19.83	14.1	16.7	P
AM ORI	5	35	34.48	5	21	32.04	13.8	15.6	P
AO ORI	5	35	43.79	5	5	44.76	14.8	17.2	P
AR ORI	5	35	53.97	5	4	14.58	14.2	15.9	P
AS ORI	5	35	53.94	4	47	19.72	15	17.4	B
AT ORI	5	35	50.13	6	50	39.42	14.7	17.2	P
AU ORI	5	35	57.78	5	57	21.77	14.8	17.6	B
AV ORI	5	36	0.1	6	42	33.27	14	17	P
AW ORI	5	36	4.99	6	29	31.81	14.1	17.5	P
AX ORI	5	36	6.62	6	14	25.14	14	16.1	P
AY ORI	5	36	8.2	6	48	35.82	15.7	18	P
AZ ORI	5	36	16.89	5	11	42.89	13.1	16.3	P
BB ORI	5	36	14.99	6	17	36.15	14.3	16	P
BC ORI	5	36	37.1	5	26	24.92	15	16.4	P
BD ORI	5	36	32.3	6	19	19.31	13.3	15.7	P
BE ORI	5	37	0.03	6	33	27.28	13	17.5	P
BF ORI	5	37	13.17	6	34	59.84	9.69	13.47	V
BH ORI	5	40	6.64	6	16	18	13.8	15.5	B
BO ORI	5	35	43.03	4	24	55.89	13.6	16.4	B
BS ORI	5	33	33.9	4	44	18.18	15.3	16.8	B
BT ORI	5	34	12.53	4	50	24.64	14	17.8	B
BV ORI	5	34	29.46	4	45	2.69	15.1	17.2	P
BW ORI	5	34	53.91	6	23	50.62	14	16.2	P
BX ORI	5	34	58.84	5	54	29.45	15.1	17	B
BY ORI	5	35	4.08	4	50	53.86	14.9	17.3	P
BZ ORI	5	35	22.89	5	52	7.9	14.8	16.4	P
CD ORI	5	35	22.25	4	42	7.13	14.7	16	P
CE ORI	5	35	47.88	5	1	27.01	15.2	17.5	P
CF ORI	5	35	46.94	5	49	27.01	14.5	16.2	B
CH ORI	5	36	7.85	4	45	20.86	14.6	16.7	B
DK ORI	5	40	11.13	7	9	51.79	14.5	16.5	P
DL ORI	5	41	25.28	8	5	53.96	12	15	P
DM ORI	5	43	38.92	5	4	2.54	12.3	15.5	P
EZ ORI	5	34	18.48	5	4	47.78	12	14.1	P
HH ORI	5	30	11.41	6	34	8.18	11	13.4	P
HL ORI	5	30	52.58	6	2	31.22	14	16	B
HN ORI	5	31	36.7	5	47	8.52	15.2	16.1	B
HP ORI	5	32	8.93	5	2	31.99	13.5	16.8	P
HR ORI	5	32	36.04	5	23	0.71	13	13.9	P

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
HS ORI	5	33	1.3	4	49	19.31	14.8	16.5	P
HT ORI	5	32	59.68	6	7	1.97	13.6	14.48	B
HV ORI	5	33	41.19	4	49	24.98	15.5	17	P
HX ORI	5	33	49.91	4	38	34.31	14.7	15.9	B
HY ORI	5	33	52.09	5	41	48.64	14.7	16.4	P
II ORI	5	34	2.08	5	36	18.97	14.9	17.5	P
IL ORI	5	34	10.45	6	8	45.21	14.8	16.8	P
IN ORI	5	34	22.14	4	57	41.12	13.3	14.8	P
IO ORI	5	34	24.16	4	24	39.1	14.6	16.5	P
IP ORI	5	34	25.79	4	56	27.43	14.8	16.8	P
IQ ORI	5	34	25.66	4	56	55.29	15.4	17	B
IR ORI	5	34	27.54	4	57	5.04	15.6	17.1	B
IT ORI	5	34	34.08	4	48	27.8	15.9	17.5	P
IZ ORI	5	34	43.03	5	44	46.37	15.2	17.6	B
KK ORI	5	34	48.08	5	42	28.67	15	16.7	B
KP ORI	5	34	56.1	5	41	23.22	14.5	16.2	B
KR ORI	5	34	59.46	5	22	59.5	13.5	15.5	B
KT ORI	5	34	59.03	5	44	29.46	15.2	16.7	B
KU ORI	5	34	57.98	6	12	23.4	14.3	16.4	B
KV ORI	5	35	1.35	5	9	32.05	16	17	P
LL ORI	5	35	5.41	5	25	18	12	13.7	P
LM ORI	5	35	8.28	5	31	48.17	14.5	16.3	P
LN ORI	5	35	8.27	5	32	42.17	15.2	17.2	P
LO ORI	5	35	8.18	5	37	6.2	15.1	17.5	B
LW ORI	5	35	12.31	5	30	30.46	14.3	17.5	P
LY ORI	5	35	14.14	5	39	6.63	14.2	15.8	P
MQ ORI	5	35	14.39	6	5	11.7	13.7	15	P
MZ ORI	5	35	21.29	5	31	19.13	14.1	16.3	P
NN ORI	5	35	25.65	4	5	32.46	14.2	16.7	P
NO ORI	5	35	24.67	5	11	55.39	14.6	17.3	P
NS ORI	5	35	24.7	6	1	43.41	15	17.7	P
NT ORI	5	35	25.04	6	47	55.8	14.1	15.5	B
NW ORI	5	35	30.06	6	3	2.23	14.8	17.5	P
OP ORI	5	35	44.13	4	48	8.79	14	17.1	B
OU ORI	5	38	17.75	5	50	5.12	14.7	15.9	P
OW ORI	5	35	54.38	5	26	45.52	14.6	16.8	P
OY ORI	5	36	50.1	6	36	59.26	15.1	17.6	B
OZ ORI	5	36	15.77	4	48	44.24	15.9	17.4	P
PP ORI	5	36	22.1	6	2	27.81	13.8	15.2	P
PQ ORI	5	36	20.94	2	10	55.94	12.5	13.7	P
PR ORI	5	36	24.91	6	17	31.72	12.2	13.6	P
PS ORI	5	36	27.77	5	42	27.79	15.7	17.2	P
PT ORI	5	36	35.88	4	24	23.58	12.1	13.1	B
PU ORI	5	36	25.82	0	2	12.12	12.5	14.6	P
PV ORI	5	36	47.02	5	30	34.25	15.7	16.9	P
PW ORI	5	36	59.67	5	23	40.58	14.5	17	P
PY ORI	5	37	12.28	6	7	3.1	15.1	17.1	P
PZ ORI	5	37	57.41	4	26	41.28	13.9	15.7	P
QQ ORI	5	39	27.49	4	54	3.85	14.2	15.8	P
V347ORI	5	32	3.42	4	20	45.71	14.9	16	P
V353ORI	5	33	48.08	4	39	27.18	15.9	17.3	P
V355ORI	5	35	9.05	5	6	47.09	13.9	16.4	B
V360ORI	5	35	32.71	5	9	31.95	13.6	14.7	B
V366ORI	5	35	9.32	5	30	0.26	15.8	16.9	P
V367ORI	5	36	32.05	5	17	13.4	15.7	17.4	B

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V368ORI	5	37	33.38	5	12	36.99	14.4	15.9	P
V369ORI	5	37	59.8	4	13	40.07	15.5	17	P
V372ORI	5	34	48.14	6	30	34.76	7.94	8.13	V
V374ORI	5	34	48.14	6	30	34.76	14.7	16.9	P
V376ORI	5	35	8.86	5	5	52.07	16.1	17.3	B
V381ORI	5	37	2.28	5	36	28.7	13.1	13.8	P
V384ORI	5	33	10.44	5	42	24.2	16.5	17.2	P
V385ORI	5	33	33.83	5	33	25.82	15.4	18.4	U
V389ORI	5	35	49.47	4	24	38.45	14.2	16.5	B
V390ORI	5	35	58.93	4	58	45.85	15.3	17.5	B
V391ORI	5	36	9.95	5	22	4.7	15.4	18.4	U
V393ORI	5	36	1.02	6	15	31.01	15.6	16.9	P
V394ORI	5	33	22.82	5	6	47.43	14.5	17.5	P
V396ORI	5	34	7.88	5	36	16.54	16	18	P
V400ORI	5	34	47.01	5	46	4.48	15.5	17	P
V408ORI	5	35	5.25	5	33	53.93	16.5	17.8	P
V410ORI	5	35	28.71	5	10	1.69	15.5	17.5	P
V411ORI	5	35	17.08	5	42	12.8	15.4	17.6	B
V412ORI	5	35	19.17	5	37	36.95	15.2	17	B
V414ORI	5	35	22.02	4	54	7.13	16	17.2	P
V415ORI	5	35	21.77	5	7	1.16	14.8	16.6	B
V416ORI	5	35	21.08	5	42	13.11	15.8	17.5	P
V417ORI	5	35	25.31	5	30	19.42	14.8	16.5	P
V418ORI	5	35	29.13	4	48	13.63	16.3	17.3	P
V419ORI	5	35	28.71	5	10	1.69	15.5	17.3	P
V420ORI	5	35	57.45	5	23	9.76	16	17.2	P
V422ORI	5	35	31.8	5	5	1.88	15.6	17.2	B
V423ORI	5	35	34.16	4	46	56.02	16.5	17.5	P
V424ORI	5	35	36.82	5	4	20.25	15.6	17.1	B
V428ORI	5	35	57.45	5	23	9.76	15.2	17.4	B
V462ORI	5	32	32.73	1	13	46.04	13.4	15	P
V466ORI	5	33	1.8	5	26	25.16	13	14.1	B
V468ORI	5	33	52.14	5	29	42.57	15.1	16.5	P
V469ORI	5	34	25.87	1	21	5.56	12.9	13.9	P
V472ORI	5	34	48.91	0	37	16.71	14.2	16.2	P
V474ORI	5	34	46.14	5	39	10.57	15.2	16.4	B
V481ORI	5	35	8.53	4	27	48.19	13.7	14.5	P
V482ORI	5	35	6.02	5	45	30.01	15.3	16.9	B
V483ORI	5	35	20.17	0	42	13.63	14.4	15.5	P
V486ORI	5	35	12.06	5	43	18.46	14.7	15.7	B
V487ORI	5	35	15.29	4	33	25.91	15	15.9	B
V490ORI	5	35	29.95	5	48	43.75		17	P
V498ORI	5	35	29.95	5	48	43.75	12.8	16.2	B
V499ORI	5	35	46.02	0	57	51.77	14.8	16.9	P
V500ORI	5	35	44.76	5	7	16.76	13.6	14.6	B
V501ORI	5	36	7.2	5	42	21.57	12.7	15.1	P
V502ORI	5	36	10.51	5	19	46.68	14.7	16.5	B
V508ORI	5	39	13.02	1	27	21.36	13.7	15.5	P
V510ORI	5	39	39.81	2	31	20.77	13.69	15.7	B
V511ORI	5	39	42.67	2	58	54.14	14.4	15.7	P
V523ORI	5	44	29.26	1	22	16.76	13.8	15.5	P
V534ORI	5	20	25.72	5	47	6.23	12.5	14.04	B
V538ORI	5	30	38.35	5	25	43.55	14	17.3	P
V539ORI	5	31	11.71	4	36	27.96	15.5	17	P
V540ORI	5	32	7.65	6	55	36.17	15.2	16.5	P

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V542ORI	5	33	20.91	6	22	32.93	15.2	17.64	B
V543ORI	5	33	39.85	0	38	54.37	14.7	16.7	P
V544ORI	5	33	38.07	4	12	31.7	14.4	17.17	B
V545ORI	5	33	44.69	6	13	59.77	14.5	16.37	B
V546ORI	5	34	11.3	4	51	22.74	15.7	16.8	B
V547ORI	5	34	22.9	4	41	39.42	15.5	16.5	B
V550ORI	5	34	47.81	5	4	52.69	15.6	16.8	P
V553ORI	5	34	56.03	5	6	1.52	15.3	17.57	B
V554ORI	5	35	4.94	4	58	23.88	16.2	17.8	P
V555ORI	5	35	9.16	4	46	54.24	16	17	P
V556ORI	5	35	9.28	4	57	12.13	16.5	17.7	P
V557ORI	5	35	13.72	5	9	18.58	16.6	17.6	B
V559ORI	5	35	18.2	4	44	48.92	15.7	16.7	P
V560ORI	5	35	36.24	5	34	14.25	15	17.5	B
V561ORI	5	35	22.73	4	17	19.17	14	17	P
V563ORI	5	35	26.98	4	56	7.49	12.8	17.2	B
V564ORI	5	35	27.54	6	9	37.63	15.3	17.8	P
V565ORI	5	35	32.14	4	47	1.89	16	17.1	P
V567ORI	5	35	37.79	4	14	27.15	13.5	17	B
V568ORI	5	35	36.24	5	34	14.25	15.2	17.52	P
V570ORI	5	36	7.23	5	34	16.49	15.4	17.5	P
V571ORI	5	35	40.9	6	32	44.6	15	16.3	B
V573ORI	5	35	43.05	6	34	50.76	14.9	17	P
V574ORI	5	35	47.7	5	10	33.05	12.6	15.7	P
V575ORI	5	35	51.04	5	7	8.74	14.3	16.5	B
V576ORI	5	35	57.23	6	40	27.64	16.2	17.7	B
V577ORI	5	35	57.37	6	42	40.93	14.5	16.6	P
V579ORI	5	36	7.23	5	34	16.49	15.5	16.5	I
V580ORI	5	36	11.71	5	0	34.71	16	17.5	B
V581ORI	5	36	17.62	4	24	35.07	14.3	16.3	B
V582ORI	5	36	21.75	6	26	1.48	16.7	17.8	P
V583ORI	5	36	35.15	1	2	16.67	16.2	17.4	P
V584ORI	5	36	30	6	23	9.47	16.3	17.7	B
V585ORI	5	36	36.86	6	33	23.2	15.3	17.7	P
V586ORI	5	36	59.16	6	9	15.4	9.65	11.2	B
V587ORI	5	37	15.43	6	59	3.1	16.3	18	P
V588ORI	5	37	37.32	5	52	21.23	16	17.38	B
V590ORI	5	37	45.66	5	53	7.47	14.4	17	B
V591ORI	5	37	51.64	6	56	49.06	15.8	17.9	B
V592ORI	5	38	27.61	6	54	53.55	14.6	16.4	P
V593ORI	5	38	0.76	7	15	53.84	14.8	17.2	P
V603ORI	5	39	38.64	2	34	1.55	17	18.5	P
V606ORI	5	39	54.57	2	46	33.81	15.1	15.9	P
V609ORI	5	40	24.12	0	31	21.81	16.2	17.1	P
V617ORI	5	41	26.08	2	0	16.12	16.1	17.2	P
V618ORI	5	41	30.44	1	38	2.46	15.3	16.4	P
V619ORI	5	41	43.3	2	29	58.67	16.8	18.4	P
V620ORI	5	41	52.2	2	1	21.2	16.2	17.5	P
V621ORI	5	41	52.6	2	3	51.39	16.5	17.3	P
V623ORI	5	42	19.49	2	15	40.98	15.8	17.8	P
V624ORI	5	42	15.7	4	19	41.92	15.6	16.8	P
V633ORI	5	45	3.39	1	10	3.29	15.2	15.9	P
V652ORI	5	34	32.84	5	0	40.12	14.3	16	V
V654ORI	5	35	58.83	6	2	39.55	15.5	17.82	B
V655ORI	5	36	4.43	5	9	28.75	12.5	16.2	B

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V657ORI	5	36	36.95	5	4	40.96	14	16.7	B
V658ORI	5	36	40.59	6	30	8.65	14.3	17.2	P
V659ORI	5	37	0.57	5	25	0.67	14.5	17.9	B
V676ORI	5	27	47.52	6	50	9.25	16	18.9	U
V677ORI	5	28	17.65	3	26	38.7	14.6	15.4	U
V678ORI	5	28	32.04	4	7	7.38	16	18	U
V680ORI	5	28	55.35	4	20	14.88	16.5	18.2	U
V681ORI	5	29	13.33	3	40	19.21	16.1	18.7	U
V682ORI	5	29	7.66	6	10	7.77	14.3	18	B
V683ORI	5	29	11.42	6	59	32.72	15.1	17.9	P
V685ORI	5	29	53.75	3	45	42.06	0	0	
V686ORI	5	30	5.78	4	22	59.91	13.8	17.8	B
V687ORI	5	30	42.65	4	7	42.3	13.6	16.58	B
V688ORI	5	30	39.81	7	3	8.66	13.8	14.96	B
V689ORI	5	30	45.66	6	52	14.23	14.5	17.6	B
V690ORI	5	30	51.23	5	36	23.44	15.2	17.6	B
V691ORI	5	30	56.97	4	12	56.55	16	16.73	B
V692ORI	5	31	8.05	7	4	15.32	15	18	B
V693ORI	5	32	2.56	3	27	35.35	16.7	17.3	U
V694ORI	5	31	56.43	4	26	50.15	12.5	18.22	U
V695ORI	5	32	6.17	4	56	9.54	16	16.8	B
V696ORI	5	32	10.75	4	55	35.76	15.1	19.3	P
V697ORI	5	32	9.95	6	29	12.48	13.5	19	U
V698ORI	5	32	8.74	7	3	13.5	14.1	16.3	B
V699ORI	5	32	17.51	6	45	54.48	16.2	18.4	U
V700ORI	5	32	24.44	5	3	17.08	15	18.4	B
V701ORI	5	32	30.01	3	59	27.87	16.1	17.9	B
V702ORI	5	32	36.09	4	6	44.17	15.5	18.7	U
V703ORI	5	32	46.59	3	14	12.19	13.5	15.5	P
V704ORI	5	32	36.54	4	41	36.53	15.4	18.9	U
V705ORI	5	32	43.08	5	39	16.07	12	16	B
V706ORI	5	32	57.39	3	5	49.15	12.7	15.3	P
V707ORI	5	32	50.92	6	38	46.82	15	17	U
V708ORI	5	33	1.33	3	58	28.51	15.2	16.2	B
V709ORI	5	32	59.17	5	24	26.13	16.3	17.8	B
V710ORI	5	33	4.53	4	59	44.98	14.4	17.4	B
V711ORI	5	32	55.13	7	18	2.4	15.5	17.7	B
V712ORI	5	33	10.9	5	8	45.48	14.7	16.4	U
V713ORI	5	33	10.48	4	59	7.65	16.5	16.91	V
V714ORI	5	33	11.5	4	59	32.31	15.9	17.32	B
V716ORI	5	33	25.04	4	3	30.14	14.2	17.3	B
V717ORI	5	33	19.71	6	4	22.57	14.1	18.6	U
V718ORI	5	33	24.33	6	27	34.6	15	16.8	P
V719ORI	5	33	28.1	5	17	26.49	15.2	17	U
V720ORI	5	33	28.87	5	19	31.53	15.7	16.19	B
V721ORI	5	33	30.57	5	2	14.18	15.9	18	B
V723ORI	5	33	28.4	6	2	5.91	16.1	17.6	B
V724ORI	5	33	36.47	4	12	23.14	15.1	17.5	P
V725ORI	5	33	36.99	5	23	6.7	16	19	U
V726ORI	5	33	45.06	5	36	31.63	17.1	20	P
V727ORI	5	33	43.15	6	5	23.08	15	18.14	B
V728ORI	5	33	45.38	6	57	5.5	13.5	17.5	B
V729ORI	5	33	44.45	5	14	9.05	13.9	15.1	B
V730ORI	5	33	47.3	4	52	9.02	14	15.3	B
V731ORI	5	33	47.3	4	52	9.02	16	17.3	B

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V732ORI	5	33	47.26	6	0	36.82	13.1	16.6	B
V733ORI	5	33	54.07	6	6	37.03	15.9	18.4	U
V734ORI	5	33	50.78	7	1	15.62	15.3	16.5	U
V735ORI	5	33	56.43	5	6	47.26	16.2	18.5	U
V736ORI	5	34	1.83	4	45	48.82	15	18.2	B
V737ORI	5	34	10.27	4	28	25.92	0	0	
V738ORI	5	34	6.14	6	30	44.63	16.2	18.5	U
V739ORI	5	34	7.56	6	35	9.82	15.2	18.1	U
V740ORI	5	34	20.33	3	27	34.49	0	0	
V742ORI	5	34	13.35	5	55	41.32	15.1	17.7	P
V744ORI	5	34	18.75	5	7	1.33	16.2	17.45	U
V745ORI	5	34	20.24	4	58	56.17	15.9	17.89	B
V747ORI	5	34	25.2	4	33	6.2	15.4	17.5	B
V748ORI	5	34	23.5	6	18	38.23	15.4	17.6	B
V749ORI	5	34	27.23	4	55	28.48	13.2	18	U
V750ORI	5	34	28.76	5	47	13.95	14.4	16.1	P
V751ORI	5	34	27.94	5	59	52.12	14.3	16.4	U
V752ORI	5	34	25.78	6	3	51.65	15.5	18.2	B
V753ORI	5	34	28.61	6	22	7.43	15.9	17.4	B
V754ORI	5	34	34.35	4	41	10.46	16.1	17.1	U
V755ORI	5	34	29	6	38	51.38	15.7	17.3	U
V756ORI	5	34	33.78	5	56	37.3	14.9	18.4	U
V757ORI	5	34	31.38	6	43	22.18	16.2	18.4	B
V758ORI	5	34	39.65	5	3	6.41	0	0	
V760ORI	5	34	34.18	6	2	9.47	15.7	17.72	B
V761ORI	5	34	31.75	6	22	48.66	16.2	18.2	B
V763ORI	5	34	46.64	4	57	43.75	14	18	B
V765ORI	5	34	43.19	6	17	2.95	15.3	18.5	U
V766ORI	5	34	38.82	6	25	21.29	14.7	17.2	B
V767ORI	5	34	39.03	6	27	20.63	0	0	
V768ORI	5	34	45.35	5	2	7.36	14.9	17.5	B
V770ORI	5	34	47	5	46	28.64	15.5	17.8	B
V771ORI	5	34	45.31	6	21	40.59	15.5	16.8	U
V773ORI	5	34	50.38	4	35	34.85	13.5	16.3	U
V774ORI	5	34	47	5	46	28.64	13.9	17.2	B
V775ORI	5	34	45.09	6	21	6.27	16.1	17.6	B
V777ORI	5	34	54.82	4	27	24.75	15.8	20.2	U
V778ORI	5	34	58.17	2	59	1.49	0	0	
V779ORI	5	34	59.73	4	35	4.39	18	19.5	V
V780ORI	5	34	58.08	5	9	27.59	0	0	
V781ORI	5	34	52.29	6	11	56.85	15.7	17.7	B
V782ORI	5	34	50.24	6	26	47.74	17	17.9	P
V785ORI	5	34	56.7	6	45	54.4	16.4	17.9	U
V788ORI	5	35	2.86	6	5	24.78	12	17.4	B
V789ORI	5	35	1.86	6	30	12.12	13.4	16.6	B
V790ORI	5	35	8.6	6	5	1.58	15	16.4	U
V791ORI	5	35	16.38	5	3	29.41	16.4	17.6	B
V792ORI	5	35	21.77	4	18	6.46	15.1	16.1	B
V793ORI	5	35	17.93	5	49	36.9	16.3	18	U
V795ORI	5	35	18.1	6	32	24.91	15.5	17.2	B
V797ORI	5	35	32.55	4	20	3.2	15.5	16.3	U
V798ORI	5	35	27.46	6	14	1.6	15.5	16.8	P
V799ORI	5	35	27.11	6	19	41.33	15.6	16.9	P
V801ORI	5	35	26.75	6	26	46.63	16.1	16.6	B
V802ORI	5	35	33.5	6	18	23.88	15.6	18	B

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V805ORI	5	35	36.77	6	16	30.25	13.7	17.6	U
V806ORI	5	35	34.25	7	16	55.86	12.7	15.3	B
V807ORI	5	35	38.02	6	11	52.14	0	0	
V810ORI	5	35	43.27	6	22	18.72	14.5	16.6	P
V811ORI	5	35	45.84	6	25	58.2	16.6	17.3	P
V813ORI	5	35	50.47	6	33	17	17.1	17.8	B
V815ORI	5	35	52.48	5	5	5.51	12.3	13.4	B
V816ORI	5	35	56.02	5	52	28.51	15	17.34	B
V817ORI	5	35	52.98	5	59	47.48	14.5	17.64	B
V818ORI	5	35	57.22	6	15	37.18	16.5	17	B
V819ORI	5	36	0.15	6	42	33.53	15.8	16.8	I
V820ORI	5	36	8.31	4	28	52.63	17	17.99	B
V821ORI	5	36	8.86	5	44	47.71	15.4	17.9	B
V822ORI	5	36	5.07	6	25	24.82	15	16.8	P
V823ORI	5	36	6.55	6	32	16.41	16.5	17.8	P
V824ORI	5	36	11.78	5	15	54.92	14.5	17.72	B
V825ORI	5	36	9.39	6	18	35.83	14.2	16.4	B
V826ORI	5	36	9.17	5	36	38.52	16.2	17.7	B
V827ORI	5	36	14.54	5	37	34.87	14.9	16.4	B
V828ORI	5	36	14.84	5	15	33.89	13.5	17.5	B
V829ORI	5	36	19.89	4	21	14.52	15.5	18.8	U
V830ORI	5	36	17.61	6	28	36.01	16.6	18.4	U
V831ORI	5	36	7.02	6	57	11.79	15.3	17.85	B
V832ORI	5	36	18.4	6	20	37.97	15.5	16.4	I
V833ORI	5	36	24.45	5	7	9	14	18.3	U
V834ORI	5	36	28.8	5	14	43.42	14.5	17.7	B
V835ORI	5	36	32.22	4	27	13.31	14.9	17.6	U
V836ORI	5	36	29.2	4	53	50.9	0	0	
V837ORI	5	36	26.4	6	6	15.42	0	0	
V838ORI	5	36	28.02	6	44	31.95	15.5	16.5	I
V839ORI	5	36	20.68	7	0	30.83	15.3	17.3	B
V840ORI	5	36	25.7	7	47	22.48	0	0	
V841ORI	5	36	40.68	4	21	19.98	16	18.5	U
V842ORI	5	36	36.22	5	36	33.59	13.5	18.7	U
V843ORI	5	36	37.1	5	48	47.05	16	18	B
V844ORI	5	36	31.42	6	41	13.06	15.7	17.9	V
V845ORI	5	36	40.6	6	52	4.19	12.5	17.5	B
V847ORI	5	36	43.71	6	15	28.12	15.6	18.6	U
V848ORI	5	36	48.18	5	22	56.2	16.3	17.7	B
V849ORI	5	36	49.38	4	49	50.15	15.9	17.4	B
V850ORI	5	36	49.53	5	4	9.43	16.2	17.9	P
V851ORI	5	36	44.67	6	44	28.18	14	18.05	B
V852ORI	5	36	51.76	5	8	35.44	14.8	17.2	B
V853ORI	5	36	51.63	5	13	29.61	14	14.69	B
V854ORI	5	36	53.1	4	59	47.85	15.4	16.37	B
V855ORI	5	36	53.18	6	34	59.63	0	0	
V856ORI	5	36	56.6	6	20	25.31	16.7	18.2	U
V857ORI	5	37	0.84	6	33	10.11	0	0	
V858ORI	5	37	5.65	4	47	21.09	14	19.1	B
V859ORI	5	37	8.61	4	38	23.85	17.6	18.08	B
V860ORI	5	37	4.8	5	37	12.41	16.1	17.7	B
V861ORI	5	37	15.82	4	37	48.32	16.2	17.06	B
V862ORI	5	37	9.9	4	44	17.75	15	19.5	U
V863ORI	5	37	9.83	6	45	45.76	15.8	17.9	B
V864ORI	5	37	10.79	6	29	19.53	16.3	18	P

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V865ORI	5	37	10.61	6	35	27.14	16.3	17.3	U
V866ORI	5	37	13.82	6	18	13.1	14.8	19	U
V867ORI	5	37	30.5	3	32	26.31	0	0	
V870ORI	5	37	24.67	5	4	34.4	14.5	15.8	U
V871ORI	5	37	17.42	6	12	47.53	15.3	18.8	U
V872ORI	5	37	26.93	5	31	3.52	16.3	19	U
V873ORI	5	37	41.17	4	14	37.35	14	18.2	B
V874ORI	5	37	36.5	7	3	3.7	14.5	17.5	U
V877ORI	5	38	2.89	6	19	30.11	16	17.4	B
V878ORI	5	38	4.87	7	16	10.18	16.5	17.2	P
V880ORI	5	38	14.54	5	5	49.64	14.8	17.8	U
V882ORI	5	38	17.97	5	5	1.7	13.9	16.3	U
V883ORI	5	38	18.85	7	2	26.96	14.8	15.6	I
V884ORI	5	38	26.4	7	7	32.72	15.4	16.9	P
V886ORI	5	38	39.37	5	38	18.37	0	0	
V888ORI	5	39	6.04	4	42	49.09	15.5	18	B
V889ORI	5	39	12.79	6	49	21.1	14.3	17.3	B
V890ORI	5	39	27.01	3	57	3.68	14.8	16.8	B
V891ORI	5	39	30.34	4	26	5.55	12.8	16.7	B
V892ORI	5	39	32.25	7	22	22.23	16.7	17.2	P
V893ORI	5	39	39.57	5	27	37.48	0	0	
V894ORI	5	39	51.75	3	46	50.21	15.8	17.6	B
V895ORI	5	39	49.73	4	55	13.01	16.4	18.4	U
V897ORI	5	40	5.65	6	27	56.33	15	21	U
V898ORI	5	40	25.6	7	5	36.75	16.2	17.2	P
V899ORI	5	40	25.12	6	15	44.46	15.5	17.8	U
V900ORI	5	40	37.35	3	26	3.47	0	0	
V902ORI	5	40	45.07	7	22	24.79	15.7	16.6	P
V904ORI	5	41	57.05	5	56	38.48	11.7	14.7	B
V905ORI	5	42	5.71	5	25	46.22	13.5	17.7	B
V908ORI	5	42	45.8	5	49	49.36	15	16.3	B
V918ORI	5	26	41.54	5	2	19.5	15.1	18	P
V919ORI	5	26	53.05	5	59	4.97	15.2	18	P
V920ORI	5	27	50.24	4	20	40.69	15.2	18	P
V921ORI	5	28	55.62	4	41	44.98	13.6	17.2	B
V922ORI	5	29	23.15	6	32	31.46	13.5	18	P
V923ORI	5	29	47.17	7	4	8.77	16.6	17.8	P
V924ORI	5	31	23.5	4	37	6.83	14.8	16.9	B
V926ORI	5	32	42.59	4	59	30.94	15.4	16.3	B
V927ORI	5	33	5.33	4	57	12.35	15.4	17.4	B
V928ORI	5	33	8.16	5	19	20.75	15	17.5	P
V929ORI	5	33	22.94	4	41	0.75	15	18.5	P
V930ORI	5	34	18.56	3	46	31.57	15.3	17.5	B
V931ORI	5	34	7.93	4	7	17.11	15.1	18.5	P
V932ORI	5	34	22.97	4	35	56.51	15.3	17.5	B
V933ORI	5	34	19.8	6	18	47.39	15.1	18.5	P
V934ORI	5	34	28.14	5	59	8.32	15.9	17.2	P
V938ORI	5	34	38.68	6	6	18.48	14	15.8	B
V939ORI	5	34	45.47	4	36	7.68	14.5	15.9	B
V941ORI	5	35	25.25	3	33	29.36	14.6	17.4	B
V942ORI	5	35	20.41	6	47	25.27	15.1	17.4	B
V943ORI	5	35	30.92	7	2	7.69	15.5	17.6	B
V945ORI	5	35	34.11	6	39	42.63	15.6	17.8	B
V948ORI	5	35	48.2	6	17	59.18	15.3	17.3	P
V950ORI	5	36	2.16	4	18	39.56	15.6	17.5	B

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V952ORI	5	36	32.73	6	39	54.03	15.8	16.8	B
V955ORI	5	38	38.16	3	46	24.52	15.5	16.4	B
V957ORI	5	39	28.47	2	49	51.22	15.6	18	P
V958ORI	5	40	41.37	6	30	30.16	14.3	15.49	B
V965ORI	5	27	17.37	4	12	0.02	16.9	18.1	P
V966ORI	5	29	2.37	5	39	32.61	16	17	B
V967ORI	5	30	6.74	6	58	10.98	16.5	17.8	B
V968ORI	5	31	0.63	5	42	5.65	16.2	17.8	B
V969ORI	5	31	5.91	4	4	23.94	16.1	16.8	B
V970ORI	5	31	25.83	5	5	15.62	16.5	17.7	B
V971ORI	5	31	30.54	4	24	51.06	16.8	17.5	P
V972ORI	5	31	54.99	4	22	53.16	14.6	17.9	B
V973ORI	5	32	4.97	4	29	15.7	15.3	16.7	B
V974ORI	5	32	42.91	3	57	58.13	16	17	B
V975ORI	5	33	53.34	6	17	10.05	15.5	18.9	P
V978ORI	5	34	25.1	4	45	10.79	15.8	18.1	P
V979ORI	5	34	37.67	4	19	28.45	15.8	20.5	P
V981ORI	5	34	39.63	6	7	12.63	15.9	17.6	B
V982ORI	5	35	6.25	5	33	36.01	15	17.4	B
V983ORI	5	35	24.15	4	22	4.73	16.6	17.9	P
V986ORI	5	35	36.05	7	9	4.62	15.4	16.7	P
V987ORI	5	35	46.73	4	18	32.8	15.4	17.1	B
V988ORI	5	35	47.08	6	29	9.67	14.6	17.5	B
V989ORI	5	35	49.05	6	41	2.76	14.5	17.8	B
V990ORI	5	36	26.65	6	26	28.33	15.5	16.9	P
V991ORI	5	36	47.46	6	8	19.88	16.3	18.1	P
V992ORI	5	37	23.35	5	43	22.76	14.6	17.7	V
V993ORI	5	37	59.03	1	5	53.01	13.8	15	P
V994ORI	5	38	25.82	6	59	51.42	16.2	18	P
V995ORI	5	40	9.75	7	9	53.65	15.9	18.7	P
V996ORI	5	42	34.11	6	40	26.9	16.2	17.1	P
V997ORI	5	44	0.9	5	36	46.06	15.9	16.6	P
V999ORI	5	33	35.95	5	52	53.85	14.7	17.1	B
V1001OR	5	35	48.74	6	13	7.53	13.6	13.8	V
V1002OR	5	38	25.44	6	47	57.23	15.8	17.5	B
V1006OR	5	33	45.04	6	4	25.12	12.77	15	V
V1007OR	5	35	22.51	4	28	49.14	15	16.5	P
V1018OR	5	35	48.89	5	1	39.16	16.5	17.8	B
V1020OR	5	37	7.64	5	52	54.62	13.5	14.7	V
V1035OR	5	27	6.2	6	23	36.01	15.8	19.2	P
V1036OR	5	27	57.25	4	59	52.28	16.1	19.8	P
V1037OR	5	27	58.91	5	40	28.12	17.2	18	P
V1038OR	5	31	35.28	7	10	54.42	13.5	18.7	U
V1039OR	5	32	42.85	6	36	37.74	16.5	18.7	P
V1040OR	5	33	13.37	4	51	32.51	15.2	17.2	P
V1041OR	5	33	28.08	5	4	46.72	15.8	19.6	P
V1042OR	5	33	42.87	4	55	43.16	14.5	18.3	P
V1043OR	5	34	8.8	5	1	41.86	15.4	17.5	P
V1047OR	5	35	37.32	3	51	6.72	15.2	16.2	P
V1048OR	5	36	24.72	4	29	8.67	15.5	16.2	P
V1049OR	5	36	37.77	3	43	45.06	15.5	19	U
V1050OR	5	37	44.12	5	29	30.56	15.5	18.7	P
V1053OR	5	43	42.66	4	54	20.03	13.5	20	U
V1058OR	5	27	57.38	4	0	42.91	16.1	17.5	P
V1059OR	5	28	32.71	7	3	40.03	16.9	18.7	P

Nombre	AR (Hrs)	AR (Min)	AR (Seg)	Dec (Gra)	Dec (Min)	Dec (Seg)	M (Max)	M (Min)	Filtro
V1060OR	5	29	47.57	6	58	22.94	16.8	18.5	P
V1061OR	5	30	24.15	4	59	9.97	16.8	17.7	P
V1062OR	5	31	18.55	6	2	6.27	16.2	17.2	P
V1063OR	5	31	31.62	4	12	24.61	13.7	18.5	U
V1065OR	5	32	1.61	4	34	27.28	15.6	21	P
V1066OR	5	32	36.71	6	45	17.81	15.8	16.9	P
V1067OR	5	33	28.28	3	12	26.4	15.4	19	P
V1068OR	5	33	23.21	5	54	27.86	15.6	19.1	P
V1069OR	5	33	54.68	4	16	25.93	13	16.1	U
V1070OR	5	34	29.8	3	40	48.22	15.4	19.2	P
V1074OR	5	35	47.2	6	33	22.83	15.2	18.2	P
V1075OR	5	36	18.55	5	5	7.79	14.1	15.8	U
V1076OR	5	36	15.77	6	14	50.44	14.5	18.8	P
V1077OR	5	36	20.46	5	41	39.34	13.9	15.5	B
V1078OR	5	36	24.65	6	5	12.86	16.2	19.4	P
V1079OR	5	37	38.22	4	13	12.09	15.1	18.1	U
V1080OR	5	41	42.13	6	33	58.16	14.7	19	P
V1081OR	5	38	29.99	6	12	53.34	16	20.4	P
V1083OR	5	39	53.95	6	32	47.01	16.2	16.9	P
V1084OR	5	43	2.48	4	29	59.5	15.2	16.2	U

B. Datos importantes de trabajos realizados sobre el cúmulo de la Nebulosa de Orión a lo largo del tiempo.

Año	Autor	Número de estrellas	Radio aprox. alrededor de θ^1 C Ori	Filtro
1931	Trumpler	62	2'	Visible
1937	Baade y Minkowski	80	1'.5	Infrarrojo
1937	Baade y Minkowski	130	2'.3	Infrarrojo
1953	Guillermo Haro	255	60'	H α en emisión (rojo)
1954	Paris Pishmish	467	15'	Infrarrojo
1982	Parsamian y Chavira	534	2.5 ⁰	H α en emisión (rojo)
1986	Herbig y Terndrup	142	1'.5	Rojo
1987	McCaughrean	500	2'.5	Banda K (infrarrojo cercano)
1988	Jones y Walker	1053	13'	Rojo
1994	Prosser	319	1'.7	Banda I
1994	McCaughrean y Stauffer	123	0.7'	Infrarrojo Cercano
1995	Ali y Depoy	3548	19'	Banda K (infrarrojo cercano)
1996	O'Dell y Wong	120	3.5'	Visible
1997	Hillenbrand	+350	15'	Optico (bandas V, I)
1998	Hillenbrand y Hartmann	3575 Recopilación de muestras	15'	Optico e infrarrojo cercano

REFERENCIAS.

Abt, H. A. Levy, S. G. 1976, ApJS 30, 273.

Ali, B., Depoy, D. 1995, AJ., 109, 709.

Allen, C., Poveda, A., Herrera, M. A. 1997. In Docobo et al. (eds.): Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks, Dordrecht: Kluwer, p. 133.

Allen, C., Poveda, A., Herrera, M. A., 2000, AA (en prensa)

Baade, W., Minkowski, R. 1937, Ap.J., 86, 119.

Chandrasekhar, S. 1989, Selected Papers, Stochastic Problems in Physics and Astronomy., University of Chicago Press.

Eggen, O. J. 1987, The Galaxy. Gilmore, G y Carswell B (Eds.). 211-227.

Genzel, R., Raid, M. J., Moran, J. M., Downes, D. 1981, Ap.J., 224, 884.

Gomez, M., Hartmann, S., Kenyon, J., Hewett, R. 1993, AJ., 1927

Haro, G. 1953, Ap.J. 117,73.

Herbig, G. H., Terndrup, D. M. 1986, Ap.J., 307, 609.

Herrera, M. A., Poveda, A., Nigoche, A., Segura, A. 1997, In Docobo et al. (eds.): Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks, Dordrecht: Kluwer, p. 199

Hertz, P., Math Ann. 67, 387, 1909.

Hillenbrand, L. 1997. Ap.J. 113, 5 1733.

Hillenbrand, L., Hartmann, L. 1998, Ap.J., 492, 540.

Jones, B. F., Walker, M. F. 1988, AJ, 95, 1755.

Kholopov, P. N. 1985-1988. General Catalogue of Variable Stars. 4th edition.

King, I., 1962. AJ, 67, 471

Laques, P., Vidal, J. L. 1979, AA., 73, 97.

Luyten, W. J., 1981, A catalogue of 929 possible candidates for Hyades membership. University of Minnesota, Minneapolis.

Maddalena, R. J., Morris, M., Moscowitz, J., Thaddeus, P. 1986, Ap.J., 303, 375.

McCaughrean, M., 1987, Ph. D. Thesis, Edimburgh Univ.

McCaughrean, M., Stauffer, J. 1994, AJ., 108, 1382.

Nigoche. A. 1996. Binarias abiertas en el cúmulo de las Híadas. Tesis de licenciatura.

O'Dell, C. R., Wen, Z. Hu, X. 1993, Ap.J., 410, 696.

O'Dell, C. R., Wen, Z. 1994, Ap.J., 436, 194.

O'Dell, C. R., Wong, S. K. 1996, AJ., 111, 8460.

Öpik, E., 1924, Publ. Tartu. Univ, Obs., 25, No 6.

Parenago, P. P. 1954, Trudy Sternberg Astron. Inst., Vol. 25.

Parsamián. E. Chavira. E. 1982. Boletín del Instituto de Tonantzintla. No 1. Vol. 3. Pag. 69.

Perryman, M. A. C., Brown, A. G. A., Lebreton, Y., Gomez, A., Turon, C., Gayrel de Strobel, G., Mermilliod, J. C., Robichon, N., Kovalevsky, J., Crifo, F. 1998, AA., 331, 81.

Pishmish.P. 1954. Boletín del Instituto de Tonantzintla 9, 103.

Poveda, A. 1988, Ap. And Sp. Sci., 142, 67.

Poveda, A., Herrera, M. A. 1991a, Ciencia y Desarrollo., XVII, 97, 124.

Poveda, A., Herrera, M. A. 1991b, Ciencia y Desarrollo., XVII, 99, 129.

Poveda, A. Herrera, M. A., Allen, C., Cordero, G. Y Lavalley, C., 1994, Rev. Mex. A. A., **28**, 43.

Poveda, A. Allen, C, Herrera, M. A., 1997, In Docobo et al. (eds.): Visual Double Stars: Formation, Dynamics and Evolutionary Tracks, Dordrecht: Kluwer, p. 191.

Prosser, C. F., Stauffer, J. R., Hartmann, L. 1994, Ap.J., 421, 517.

Shields, G.A. 1990, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 28, 525.

Sobol, I. M. 1974, El método de Monte Carlo., Edit. MIR., Moscú.

Trumpler, R. 1931, PASP, 43, 255.

Van Altena, W. F., 1966, AJ, **71**, 482.

Van Bueren, H., 1952, Bull. of the Astronomical Institute of the Netherlands, 11, 385.

Walker, M. F. 1969, Ap.J., 155, 447.

Walker, M. F. 1972, Ap.J., 175, 89.