

Detección y fotometría de cúmulos de estrellas a partir del catálogo GSC-ACT

AURA ANGÉLICA LUQUE OSPINA

Trabajo de grado para optar al título
de Físico

Asesor
BENJAMÍN OOSTRA

Universidad de los Andes

Facultad de ciencias

Departamento de física

Bogotá Noviembre de 2006

AGRADECIMIENTOS

Hay muchas personas a las cuales les debo agradecer todo su apoyo y confianza en mí, pero en este trabajo quiero hacer un reconocimiento especial a las personas que mas me colaboraron. Primero quiero darles las gracias a mis padres, quienes siempre me han apoyado y me han dado fuerza para seguir adelante. A Benjamín Oostra, un profesor y maestro que desde el primer día de universidad me brindo su ayuda y sus conocimientos, y hoy en día es él quien me guío y colaboro en esta tesis. A David Ramírez por su gran ayuda, ya que gracias a él, a sus grandes conocimientos en computación y desinteresada colaboración, fue posible el desarrollo de este proyecto. A William Romero por ayudarme en un momento crucial de la tesis con sus conocimientos en computación. A mi queridísimo Juan, por toda su ayuda y apoyo.

Índice general

1. Introducción	9
2. Objetivos	11
Objetivos generales	11
Objetivos específicos	12
3. Marco teórico	13
Galaxias	13
Nebulosas	15
Cúmulos estelares	17

Definición	17
Evolución de los cúmulos estelares	17
Cúmulos estelares globulares	18
Definición	18
Reseña histórica	19
Composición	20
Distribución	22
Nacimiento y fin	23
Uso	23
Cúmulos estelares abiertos	25
Definición	25
Reseña histórica	25
Composición	26
Distribución	26
Nacimiento y fin	27
Uso	28
El diagrama HR	29
Diagramas HR de cúmulos	30

4. Software utilizados	32
PictorView XT	32
Excel 2003	33
ESO-MIDAS	34
5. Metodología	35
Obtención de datos y fotos	35
Análisis de imágenes	39
Procesamiento de Imágenes	43
Proceso para hallar los cúmulos	44
Obtención de los cúmulos	45
Cúmulos hallados vs. Conocidos	45
6. Diagramas HR propios	50
7. Análisis de resultados	59
Análisis de las tablas	59
Análisis HR	60
8. Conclusiones	63

Propuestas 64

Índice de figuras

3.1. Galaxia de Andromeda, [6]	14
3.2. Nebulosa Esquimal NGC 2392,[7]	15
3.3. Cúmulo globular 47 Tucanae, [8]	18
3.4. Cúmulo abierto Las Pléyades, [9]	25
3.5. Diagrama de Hertzsprung-Russell, [10]	29
5.1. Hemisferio norte magnitud 4	38
5.2. Hemisferio sur magnitud 4	38
5.3. Hemisferio norte todas las magnitudes	39

5.4. Hemisferio sur todas las magnitudes	39
6.1. HR Pléyades	52
6.2. HR M3	53
6.3. HR IC 4756	54
6.4. Se ve perfectamente que no es un cúmulo	55
6.5. HR NGC 2112	56
6.6. La acumulación de estrellas es evidente en la ascensión recta 88,4deg y declinación 0,4deg. Este es el cúmulo NGC 2112. También se puede ver una pequeña agrupación de estrellas en las coordenadas AR=88,68deg; DEC=0deg	57
6.7. El diagrama HR de este sector del cielo (AR=88,68deg; DEC=0deg) muestra una similitud con la secuencia principal característica de un cúmulo	58

CAPÍTULO 1

Introducción

Desde los orígenes de la humanidad, la observación del cielo ha sido uno de los motores que ha impulsado la creatividad y el ingenio humano. La inmensidad del universo nos ha mostrado cuan pequeños y únicos somos y su observación nos ha dado la llave para entender lo que para nosotros sólo un dios fuese capaz de crear. En el siglo II a.C. Hiparco de Nicea elaboro un catálogo estelar que contaba con unas mil estrellas y descubrió la precesión de los equinoccios entre otros muchos descubrimientos. Desde es entonces la catalogación de estrellas se ha venido refinando, pasando por las precisas mediciones del astrónomo Tycho Brahe, hasta las nuevas observaciones de los grandes telescopios y satélites, con los cuales se encontraron nuevas galaxias, nebulosas, cúmulos, etc.

El estudio de los cúmulos de estrellas es de gran importancia actualmente, ya que con ellos se puede estudiar el nacimiento de las estrellas (con los cúmulos abiertos) y el origen y la evolución de las galaxias, y por ende del universo (en el caso de los cúmulos globulares), en lo que hoy se ha denominado *Arqueología del Universo*. Los cúmulos estelares son muy útiles en el estudio de nuestra galaxia, ya que con los cúmulos abiertos se puede analizar los brazos espirales y el disco, y con los globulares vemos en donde se encuentra el centro de la Vía Láctea.

Hasta la fecha no existe un catálogo de cúmulos que cubra todo el cielo de manera homogénea. Lo que hay son listas de descubrimientos fortuitos, hechos con instrumentos y criterios diversos; pero para usar los cúmulos de manera confiable, los astrónomos necesitan un catálogo generado con un procedimiento uniforme.

Existen catálogos de estrellas que cumplen con ese criterio, algunos con diez mil estrellas, y los más grandes con 470 millones. Esto ha inspirado la idea de buscar cúmulos en estos catálogos de estrellas [15], utilizando un procedimiento sistemático. Este es el objetivo de este trabajo. Para ello escogí el catálogo GSC-ACT, el cual cuenta con 25'241.730 de puntos[1]. Este es una recalibración del catálogo guía del Hubble (Hubble Guide Star Catalog -GSC-), versión 1.1, el cual usa el ACT (Astrographic Catalog/Tycho) del observatorio naval de los EE.UU.

CAPÍTULO 2

Objetivos

Objetivos generales

- Realizar un catálogo de cúmulos estelares en la Vía Láctea a partir del catálogo GSC ACT de 25'241.730 puntos.
- Realizar estudios de fotometría y clasificación HR de algunos de los cúmulos que se encuentren.

Objetivos específicos

- Importar el catálogo GSC-ACT de la pagina de internet:
ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/I/255/GSC_ACT/
- Mediante el uso de un programa de computador, buscar regiones de alta densidad de estrellas, generando así un catalogo de cúmulos de nuestra galaxia.
- Realizar un diagrama HR de algunos de los cúmulos hallados, para corroborar que lo que encontramos si es un cúmulo y estudiar sus características principales (edad, distancia).

CAPÍTULO 3

Marco teórico

Comenzaré dando una pequeña explicación de algunos de los objetos más importantes en nuestro universo como lo son las galaxias y las nebulosas. Esto con el fin de tener conceptos más claros en la explicación de los cúmulos globulares y los abiertos.

Galaxias

Las galaxias son conjuntos de muchísimas estrellas, gas y polvo que se mantienen unidos por la gravedad. Las estrellas de la galaxia orbitan alrededor del centro de la misma, entre más alejada del centro mayor tiempo tomará describir la orbita. Los



Figura 3.1: Galaxia de Andromeda, [6]

principales componentes de una galaxia en espiral son: Núcleo, disco, y halo que contiene cúmulos globulares.

Las galaxias en espiral o espirales se caracterizan por tener brazos diametralmente opuestos los cuales se despliegan y giran alrededor del núcleo en forma de espirales. Las galaxias poseen estrellas viejas -rojas- las cuales se hallan en el halo y en la región central, estas estrellas son conocidas como Población II. Las estrellas de la población II se encuentran generalmente en cúmulos globulares, ya que estos cúmulos están compuestos de estrellas tipo II. De la misma manera, las galaxias poseen estrellas jóvenes -azules- las cuales se encuentran en los brazos espirales de las galaxias, estas estrellas son conocidas como Población I. Las estrellas de la población I se encuentran en cúmulos abiertos y nebulosas.

Existen grupos de galaxias llamados cúmulos de galaxias los cuales están unidos por la fuerza gravitatoria. La vía Láctea pertenece a un cúmulo llamado Grupo Local el cual sólo tiene 40 galaxias, entre ellas la galaxia Andrómeda.

El cúmulo de Virgo es el cúmulo más grande conocido hasta el momento con más de dos mil quinientas galaxias. Los cúmulos de galaxias se agrupan en supercúmulos y

el grupo local pertenece al supercúmulo de virgo.[18][20][22]

Nebulosas



Figura 3.2: Nebulosa Esquimal NGC 2392,[7]

Estos cuerpos celestes son nubes de gas y polvo los cuales desempeñan un papel importante en la formación de estrellas, dicha formación se lleva a cabo en el interior de las nebulosas debido al colapso gravitatorio que ocurre en las mismas. El gas ha estado allí desde el principio del universo mientras que el polvo y los elementos pesados han sido liberados por las explosiones interestelares cuando una estrella muere. Existen cuatro tipos de nebulosas. Nebulosas de reflexión, de emisión, de absorción y planetarias.

- **Nebulosas de Reflexión:** La característica principal de este tipo de nebulosas es que los átomos que la componen reflejan la luz de una estrella próxima, por lo que adoptan el mismo color de la estrella a la cual reflejan.

- **Nebulosas de Emisión:** la característica principal de este grupo particular de nebulosas es que sus átomos son excitados por la radiación emitida desde las estrellas circundantes, convirtiéndose así en fuentes de radiación emitiendo luz y brillando. Estas nebulosas aparecen rojizas debido a la radiación característica del hidrógeno en la región roja del espectro.

- **Nebulosas de Absorción:** La característica principal de estas nebulosas es que absorben luz y sólo se pueden ver cuando existe una fuente luminosa que las haga resaltar. Un ejemplo de esta clase de nebulosas es el trazo oscuro que parte en dos a la Vía Láctea en las constelaciones del Cisne y del Águila.

- **Nebulosas Planetarias:** estas nebulosas están compuestas por envolturas de gas que se han desprendido de estrellas agonizantes. Deben su nombre al aspecto circular y muy definido que poseen, el cual emula el disco de un planeta. Una nebulosa planetaria debe su brillo a la radiación ultravioleta de la estrella con la que está asociada la cual es absorbida por los átomos de la nebulosa y reirradiada. Una nebulosa planetaria es una estrella en el estado de gigante que llegará al estado de enana blanca y que para lograrlo su núcleo está desprendiendo sus capas externas.[21][23]

Cúmulos estelares

Definición

Son agrupaciones de estrellas que van entre unos cientos hasta muchos miles. Entre las estrellas de un cúmulo hay interacciones gravitacionales que permiten su existencia. Se puede encontrar dos clases de cúmulos: Los cúmulos globulares o cerrados y los cúmulos abiertos.

Evolución de los cúmulos estelares

Los cúmulos abiertos poseen estrellas azules, las cuales tienen una masa enorme de alrededor de 120[16] masas solares y su periodo de vida es muy corto en la secuencia principal, las estrellas amarillas tienen una masa entre una y dos veces la masa del sol mientras que las estrellas rojas poseen una masa inferior a la del sol.

Después de diez millones de años, las estrellas más masivas han salido de la secuencia principal y van rumbo a convertirse en una estrella gigante roja.

Después de un billón de años todas las estrellas azules han abandonado la secuencia principal y van rumbo a convertirse en una gigante roja, de la misma manera algunas gigantes rojas se han convertido en enanas blancas.

Después de diez billones de años, todas las estrellas amarillas han abandonado la secuencia principal y el color predominante del cúmulo es ahora rojo desde que todas las estrellas son gigantes rojas o enanas blancas de poca luminiscencia.

Con el tiempo el cúmulo dejará de brillar debido a que todas las estrellas serán enanas blancas, estrellas de neutrones o agujeros negros.[19][18][21]

Cúmulos estelares globulares

Definición

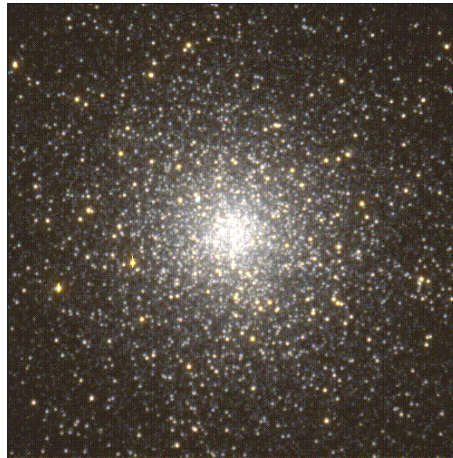


Figura 3.3: Cúmulo globular 47 Tucanae, [8]

Son cúmulos más organizados y densos que los abiertos, en los cuales se encuentran cientos de miles de estrellas individuales, esparcidas en un volumen de varias decenas hasta alrededor de doscientos años luz en diámetro. Se encuentran ubicados en todo el halo esférico que rodea nuestra galaxia. Cabe anotar que dichos cúmulos contienen estrellas que pueden llegar a tener edades de quince mil millones de años lo cual las convierte en unas de las más viejas de la galaxia, Población II.

Se ha comprobado la existencia de alrededor de ciento cincuenta cúmulos globulares en nuestra galaxia - La Vía Láctea- .De la misma manera se ha logrado establecer la existencia de cúmulos globulares en otras galaxias también distribuidos en halos esféricos. Se tiene información de que en la galaxia de Andrómeda M31 existen alrededor de trescientos cúmulos. El número de estrellas en dichos conglomerados es tan elevado -más de mil estrellas por pársec cúbico- y las distancias entre las

estrellas es tan pequeña que la gravedad juega un papel fundamental por lo que se consideran grupos gravitacionalmente ligados. Es importante anotar que cada estrella orbita alrededor del centro del conglomerado en orbitas cuasi elípticas. La edad de los cúmulos puede ir entre quince mil y dieciocho mil millones de años y su población está compuesta principalmente por estrellas de Población II, muchas de las cuales han evolucionado hasta convertirse en gigantes rojas.

Los cúmulos globulares tiene un número aproximado de estrellas de población II del orden de cientos o miles, con una distribución cuasi esférica. Un cúmulo globular orbita alrededor de una galaxia cómo si fuese un satélite.

Reseña histórica

El primer cúmulo globular descubierto fue M22 en sagitario el cual fue descubierto probablemente por Abraham Ihle en el año de 1665, este descubrimiento fue seguido por la aparición del cúmulo Omega Centauro (NGC 5139) descubierto por Edmond Halley el año siguiente, seguido igualmente por los descubrimientos de M5 en Serpens Caput por Gottfried Kirch en 1702 y M13 en Hercules por le mismo Halley en 1714.

En el verano de 1782, Antes que William Herschel empezara su estudio del cielo profundo con telescopios de gran tamaño, habían 33 cúmulos globulares descubiertos. Herschel descubrió 37 nuevos cúmulos globulares y acuñó el término cúmulo globular en una discusión paralela a su segundo catálogo de 100 objetos en el cielo profundo (1789). Estos primeros cúmulos pertenecen a nuestra galaxia, pero algunos de ellos han sido integrados dentro del sistema de cúmulos globulares galácticos sólo hasta hace pocos años. Desde su descubrimiento, los cúmulos globulares han sido considerados como aglomeraciones de estrellas las cuales permanecen unidas debido la

interacción de las fuerzas gravitacionales entre las estrellas que los componen. También se cree que todos los cuerpos tienen unas distancias relativas muy pequeñas y casi similares entre unos y otros. La prueba de esto sólo fue posible debido a la espectroscopia, mostrando que las estrellas de estos cúmulos tienen velocidades radiales características de estas aglomeraciones y encajaban perfecto en el diagrama Color-magnitud o diagrama HR.

Composición

La composición de los cúmulos globulares es de cientos de miles de estrellas de población II pero con una gran densidad, es decir muchas estrellas en unos pocos parsecs cúbicos. Los cúmulos globulares Omega Centauro y G1, ubicados en las galaxias La Vía Láctea y M31 respectivamente, son extremadamente densos, varios millones de veces más densos que el sistema solar. Existen otros cúmulos como el M15 que poseen núcleos muy masivos, lo cual hace pensar que contienen agujeros negros en sus centros.

La edad de cada cúmulo globular está bien definida -con contadas excepciones-, lo cual supone que las estrellas que lo componen se encuentran en una etapa similar de evolución estelar. Debido a este factor y al estudio de las diagramas HR de dichos cúmulos que se desarrolló la primera teoría de la evolución de las estrellas.

Debido a su gran densidad existen interacciones fuertes entre las estrellas que los componen, tales como colisiones, por consiguiente algunas clases exóticas de estrellas son más comunes en los cúmulos globulares tales como: las azules rezagadas, los púlsares milisegundo y las binarias de poca masa emisora de rayos X.

Existen alrededor de ciento cincuenta cúmulos globulares descubiertos en nuestra galaxia pero se cree que puede existir una veintena más sin descubrir. Algunas

galaxias más grandes que la nuestra poseen aún más. Andrómeda podría llegar a tener al menos unos quinientos cúmulos mientras que algunas galaxias elípticas gigantes podrían tener veinte veces más cúmulos; tal es el caso de la galaxia M87. Los cúmulos orbitan alrededor de la galaxia con un radio de cien mil parsecs.

Para determinar las órbitas físicas de los cúmulos globulares se requiere saber sus movimientos propios y las velocidades radiales. En el año de 1993, Cudworth y Hanson alcanzaron algunas de las primeras determinaciones de los movimientos propios con respecto a las galaxias de referencia. A partir de esta y otras medidas similares Van den Bergh en 1995 calculó las distancias perigalácticas y Dauphole et.al. calculó las primeras orbitas aproximadas.

Varias galaxias contienen dos tipos diferentes de cúmulos globulares de la misma edad pero con composiciones metálicas diferentes. Estas clases diferentes son conocidas como: pobres en metal y ricas en metal. Se ha tratado de explicar la existencia de las mismas con varias hipótesis como fusiones galácticas, múltiples fases de formación de las estrellas y la acreción de galaxias enanas. En nuestra galaxia, los conglomerados pobres en metal están asociados con el halo y los ricos en metal están asociados con la protuberancia.

Estudios espectroscópicos muestran que hay mucho menos abundancia de materiales pesados que estrellas como el sol en los cúmulos globulares lo cual hace creer que la edad de los cúmulos data desde el comienzo del universo por lo que contienen estrellas de la población II las cuales fueron formadas de la materia primordial presente en la galaxia justo después de su formación.

Distribución

La distribución de cúmulos globulares en nuestra galaxia está concentrada alrededor del centro galáctico en Sagitario y Escorpión, conteniendo alrededor del 50 % de cúmulos globulares descubiertos hasta el momento. De ochenta y ocho constelaciones sólo cuarenta y tres contienen cúmulos globulares, Aquila posee siete, Serpens tiene cinco , Hércules y Ara contienen cuatro cada una y ninguna otra constelación posee más de tres.

Alrededor del 90 % de los cúmulos globulares descubiertos hasta el momento se encuentran concentrados alrededor de Sagitario, mientras que sólo el 9 % se encuentra en el lado opuesto de los cuales cuatro se creen que pertenecen a la galaxia enana del Can Mayor, descubierta en 2003 pero los cuales serán integrados en el halo de la vía Láctea.

Esta anisotropía en la distribución de los cúmulos globulares fue de vital importancia en la historia cuando Harlow Shapley en el año de 1917 dedujo a partir de ella que el centro de nuestra galaxia se encuentra alejado de nuestro sistema solar en la dirección de Sagitario y no cerca como se había pensado anteriormente.

En el año de 1975 Woltjer investigó la distribución de los cúmulos globulares de fuera de nuestra galaxia y los clasificó en cúmulos globulares de halo y cúmulos globulares de disco. La medición de la velocidad radial ha mostrado que la mayoría de los cúmulos globulares se están moviendo en órbitas elípticas altamente excéntricas las cuales los expulsan de la vía Láctea formando un halo de una forma esférica burda, el cual está concentrado en el centro galáctico pero alcanza a salir hasta una distancia de varios miles de años luz, mucho más que la dimensión del disco galáctico. Como ellos no participan en la rotación de disco galáctico pueden tener una velocidad relativa de varios cientos de kilómetros por segundo respecto a nuestro sistema solar.

Nacimiento y fin

Algunas hipótesis apuntan al hecho que los cúmulos globulares iniciaron su formación como galaxias las cuales orbitaban alrededor de una galaxia de mayor tamaño, la cual fue ganando las estrellas externas de la galaxia menor debido a la fuerza gravitacional.

Como los cúmulos globulares orbitan alrededor del centro galáctico, están expuestos a varias perturbaciones tales como: escapes y aceleraciones aleatorias por múltiples encuentros, fuerzas de marea ejercidas por las galaxias cercanas -especialmente acentuadas en el centro de la galaxia-, pérdida de gas la cual contribuye a la pérdida de masa debido a la evolución estelar.

Significativamente más lentas que las perturbaciones que afectan a los cúmulos abiertos, estas perturbaciones tienden a romper los cúmulos globulares. Los cúmulos existentes son los sobrevivientes de una población mucho más extensa, muchos de los cuales fueron destruidos y sus estrellas esparcidas a través del halo galáctico. El proceso de destrucción continúa y se ha estimado que cerca de la mitad de los cúmulos globulares que existen en nuestra galaxia habrán desaparecido en un periodo de diez mil millones de años.

Uso

Los cúmulos globulares contienen un número de estrellas variables, en particular RR Lyrae las cuales eran llamadas variables de cúmulos por su abundancia en los mismos. Un pequeño número de cúmulos globulares también contiene nebulosas planetarias; esto parece ser muy raro debido a su corto periodo de vida. También contienen un número extenso de enanas blancas y en algunos casos pulsares.

Los diagramas HR para Cúmulos globulares tienen secuencias principales cortas y

ramas prominentemente horizontales, esto, típicamente, representa estrellas viejas que han evolucionado a través de fases de estrellas gigantes o súper gigantes.

Comparando las mediciones de los diagramas HR de cada cúmulo globular con los modelos teóricos de HR podemos concluir o estimar la edad aproximada de los cúmulos globulares. Lo sorprendente es que casi todos los cúmulos globulares parecen tener la misma edad; la razón física podría ser que ellos se formaron en un corto periodo de tiempo en la historia del universo y aparentemente fue hace mucho tiempo cuando las galaxias eran jóvenes; dicha edad oscila entre quince y dieciocho mil millones de años. Esto es crucial para determinar la edad del universo, discusiones recientes acerca de la edad de los cúmulos globulares muestran que debido a las modificaciones generales de la escala de distancias del universo, debido a los resultados de satélite astronómico de ESA llamado Hipparcos, dichos resultados sugieren que las galaxias y muchos otros objetos galácticos incluyendo los cúmulos globulares, pueden estar a una distancia 10% mayor de la que se pensaba, esto implica que la brillantez intrínseca de todas las estrellas puede ser 20% mayor a la que se pensaba y esto repercute, considerando varias relaciones de la estructura estelar y su evolución, en que ellas deben ser un 15% más jóvenes. Estos porcentajes fueron calculados en un estudio preliminar de antemano y no son precisos.

Debido al estudio de los cúmulos globulares se pudo establecer la posición relativa del sol en nuestra galaxia. Antes de esto se creía que el sol estaba ubicado cerca del centro de nuestra galaxia debido a que la distribución estelar de la vía Láctea observada desde la Tierra parecía uniforme, lo que puso a pensar a los científicos fue el hecho que la distribución de los cúmulos globulares era asimétrica. Asumiendo que los cúmulos poseían una distribución cuasi esférica alrededor del centro galáctico se logró establecer la distancia del sol al centro de la galaxia. Debido a ello se encontró que la zona observable de la Vía Láctea desde nuestro planeta es minúscula.[18][20][21][22]

Cúmulos estelares abiertos

Definición



Figura 3.4: Cúmulo abierto Las Pléyades, [9]

Los cúmulos abiertos son grupos de estrellas que se mantienen juntos por acción de la fuerza gravitatoria mutua. Estos tienen algunos miles de estrellas que fueron creadas casi al mismo tiempo en la misma nube de gas y polvo. Típicamente tienen edades inferiores a unos pocos centenares de millones de años.

Reseña histórica

Los primeros cúmulos abiertos han sido conocidos desde los tiempos de la prehistoria. Cúmulos como Las Pléyades (M45), las Hyades y La Colmena o Praesepe (M44) son unos buenos ejemplos. Cabe anotar que Tolomeo también había mencionado a M7 y a el cúmulo en Coma Berenices alrededor del año 138 d.C.

Galileo Galilei fue el primero en descubrir, en el año 1609, que los cúmulos esta-

ban compuestos de estrellas cuando observaba a M44, ello debido a que los cúmulos abiertos son brillantes y fácilmente observables con telescopios pequeños. Una prueba de ello es que muchos fueron descubiertos con los primeros telescopios.

En el año de 1767, el reverendo John Michel concluyó que los cúmulos eran probablemente grupos que estaban relacionados físicamente y no una colección aleatoria de estrellas.

En el año de 1782 existía un catalogo con 59 cúmulos y cabe anotar que todos ellos pertenecían a nuestra galaxia.

El hallazgo de un movimiento propio y común para Las Pléyades por Mädler y para el cúmulo movil en la Osa Mayor por Richard Proctor, estableció la relación física entre los cúmulos de estrellas. Finalmente, la espectroscopia fue necesaria para mostrar la velocidad radial de los cúmulos de estrellas y para comprobar que las estrellas seguían un patrón en el diagrama HR con lo cual se determino que ellas estaban casi a la misma distancia. La confirmación final de este descubrimiento llego únicamente por observaciones del satélite Hipparcos de la ESA.

Composición

Los cúmulos abiertos están compuestos de estrellas calientes, generalmente jóvenes de Población I, las cuales se han formado recientemente.

Distribución

Se encuentran mayoritariamente en los brazos en espiral de nuestra galaxia y no en el centro cómo los cúmulos globulares.

Son agrupaciones de estrellas de forma irregular, también se denominan cúmulos galácticos debido a su localización en el plano de la vía Láctea.

Los cúmulos abiertos se encuentran disgregados debido a su interacción gravitacional

con nubes moleculares en su movimiento por la galaxia.

Se estima que hay alrededor de 200 000 cúmulos abiertos en la Vía Láctea, pero es sólo un estimativo burdo por lo que la cifra real puede ser aún mayor.

Los cúmulos abiertos disgregados evolucionan solidariamente con las estrellas que los componen constituyendo una asociación estelar.

Nacimiento y fin

Se cree que los cúmulos abiertos se originaron a partir de grandes nubes cósmicas de gas y polvo -nebulosas difusas- en nuestra galaxia o en galaxias similares. Ellos continúan orbitando la vía Láctea dentro o cerca del disco galáctico.

En muchas nubes, visibles como nebulosas difusas, la formación de estrellas continua, de esta manera, nosotros podemos observar el nacimiento de cúmulos de estrellas jóvenes. El proceso de formación toma poco tiempo comparado con el período de vida de los cúmulos, por lo cual las estrellas de un mismo cúmulo tienen una edad casi similar, y como ellas se forman de la misma nebulosa difusa su composición química es casi la misma.

La mayoría de los cúmulos abiertos tienen vidas cortas. Cómo ellos avanzan a lo largo de su órbita algunos de sus miembros van escapando del cúmulo debido a los cambios de velocidad por encuentros mutuos, a las fuerzas de marea en los campos gravitacionales galácticos y a encuentros con estrellas y nubes interestelares que cruzan su camino. En promedio un cúmulo abierto habrá perdido la mayoría de sus estrellas en un periodo de cien millones de años; muy pocos de ellos llegan a tener una edad de un billón de años. Las estrellas que han escapado del cúmulo continúan orbitando la galaxia con su propia órbita.

Uso

Los cúmulos abiertos tienen especial interés para la astrofísica debido a que poseen las siguientes propiedades: las estrellas que lo conforman tienen aproximadamente la misma edad y poseen una composición química muy similar. Esto hace que sean más fáciles de estudiar que estrellas individuales.

Debido a ello, dichas estrellas representan casos de edad constante y/o composición química constante, lo cual ayuda a estudiar la estructura y la evolución estelar, de la misma manera que es útil para obtener líneas en los diagramas de estado Hertzsprung-Russell (HR).

Comparando el diagrama estándar HR obtenido de las estrellas cercanas -y de las cuales se conoce la distancia a la que se hallan- con la magnitud absoluta del diagrama color magnitud de un cúmulo de estrellas se obtiene un buen método para determinar la distancia de los cúmulos de estrellas.

Comparando sus diagramas HR con la teoría estelar se obtiene un buen método para obtener la edad de los cúmulos de estrellas.

El hecho que todos los diagramas HR de todos los cúmulos puedan explicar la teoría de la evolución estelar nos muestra una evidencia contundente para esta teoría.[18][20][21][22]

El diagrama HR

El diagrama **HR** (Hertzsprung-Russell) tiene como función mostrar la relación existente entre la temperatura superficial de una estrella y su magnitud absoluta, a través de un gran número de observaciones.

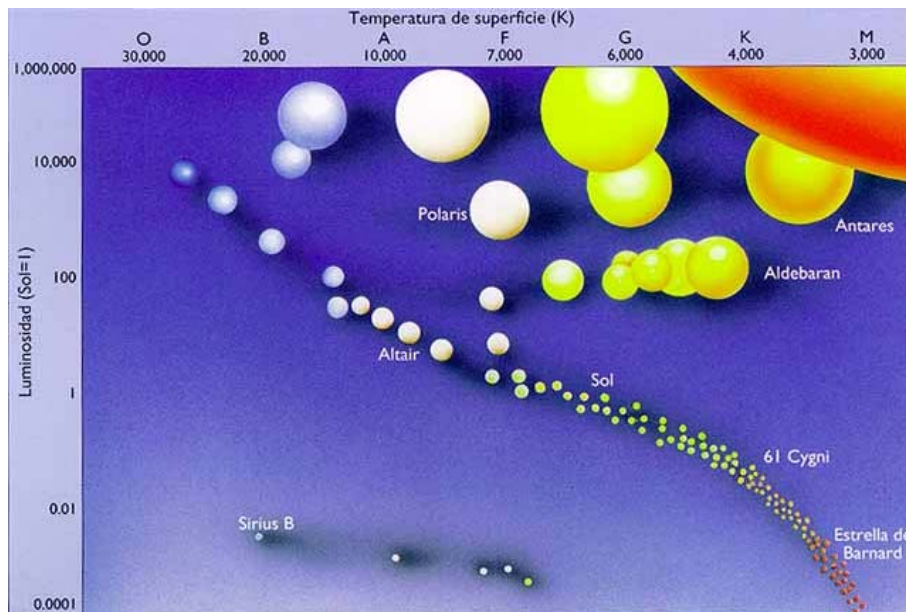


Figura 3.5: Diagrama de Hertzsprung-Russell, [10]

El diagrama hecho por Ejnar Hertzsprung en 1911 mostraba la luminosidad de las estrellas en función de su color, mientras que el diagrama realizado por Henry Norris Russell en 1913 mostraba la luminosidad en función del tipo espectral. Aunque estos diagramas fueron realizados de manera independiente son equivalentes, y es por esto que lleva el nombre de los dos astrónomos.

Este diagrama es utilizado principalmente para diferenciar tipos de estrellas y para estudiar la evolución estelar. También es usado para medir edades y distancias de

cúmulos.

En la figura 3.5 se puede ver como las estrellas tienen agrupaciones específicas dentro del diagrama. En la sección central (sobre toda la diagonal) se encuentra la acumulación principal de estrellas, la cual es llamada la secuencia principal. En esta se muestran desde las estrellas más calientes y brillantes (parte superior izquierda), pasando por las tibias y amarillas como nuestro sol (parte central) hasta las más frías y menos brillantes (parte inferior derecha). En todas estas su fuente de energía son las reacciones termonucleares de fusión del hidrógeno en helio.

En las otras dos regiones se encuentran las enanas blancas (parte inferior izquierda) y las gigantes rojas y las supergigantes (parte superior derecha).[17]

Diagramas HR de cúmulos

Para realizar el diagrama HR se debe contar con los datos de magnitud absoluta, pero esta no es observable a simple vista, sino que se calcula a partir de la magnitud observada; además se necesita de la distancia del objeto, la cual no siempre es bien conocida. Esto hace que la elaboración del diagrama no sea del todo fácil. Por el contrario la magnitud observable es la magnitud aparente, la cual se puede medir más fácilmente. Al graficar las magnitudes observadas contra el color (o temperatura), resulta el diagrama CM (color-magnitud). Para una muestra aleatoria de estrellas, este gráfico no muestra ninguna estructura; pero el diagrama CM de un cúmulo se parece al diagrama HR, puesto que todas las estrellas del cúmulo están prácticamente a la misma distancia de nosotros; la diferencia entre los dos diagramas es la diferencia entre magnitud observada y magnitud absoluta, que es una constante aditiva que depende de la distancia, y esta constante tiene el mismo valor para todas las estrellas.

$$m - M = 5 \log \left(\frac{D}{10 \text{pc}} \right)$$

De manera que el diagrama CM es el mismo HR con un desfase/corrimiento vertical. Comparando las dos gráficas se puede hallar la distancia y edad del cúmulo. Por otro lado si se sospecha que en cierto lugar hay un cúmulo, una primera forma de reconocerlo es mediante su diagrama CM, ya que si este diagrama de alguna conglomeración de estrellas muestra un patrón similar al del diagrama teórico, esto podría demostrar que el conjunto de estrellas es en efecto un cúmulo.[11]

CAPÍTULO 4

Software utilizados

PictorView XT

PictorView XT es el software proporcionado con la cámara Pictor XT Autoguider/Imager que permite tomar fotos de excelente calidad, las cuales se pueden descargar al PC. También incluye características avanzadas del procesamiento de imagen, tales como superposición de imágenes, rotación y contraste entre otras muchas. La imagen se vuelve a clasificar según el tamaño y rotación, y las funciones de la limpieza de la imagen tales como sustracción del marco oscuro para dar la mejor imagen. Se pueden guardar las imágenes en una variedad de formatos estándares del archivo, incluyendo BMP, GIF, TIFF, PCX, de Windows y FIT del estándar de la

astronomía. También se puede convertir la imagen a partir de un formato a otro, y la información de registro de la imagen usando la característica de la información de la imagen. PictorView XT puede abrir más de una imagen a la vez, pero solamente una imagen será la imagen activa.

Mediante el uso de las funciones *background* y *range* se pueden variar la luminosidad y contraste de las imágenes, esto es, el área debajo del nuevo *background* se tornará negra y el área por encima del nuevo *range* se volverá blanca.

Una ventaja singular de PictorView XT es su ayuda de visión nocturna y de visión de CCD. La visión nocturna es usada por muchos fabricantes para que los ojos del usuario no pierdan la sensibilidad con la luz de la pantalla que lo puede llegar a encandelillar. La visión CCD vuelve a la pantalla azul con lo que se permite trabajar en recintos oscuros sin perder la sensibilidad de los ojos.[4]

Excel 2003

Excel es una hoja de cálculo creada en 1984 por Microsoft para suplir las necesidades de muchos contadores, administradores y en general gente de negocios.

En términos coloquiales, Excel es una gran hoja formada por filas y columnas, cuyas intersecciones forman las celdas en las cuales se introduce información. Esta información puede ser de tipo numérico, alfabética o fórmulas que pueden utilizar la información de otra celda. Normalmente cuando un valor en la celda cambia, la fórmula automáticamente se recalculará y mostrará el nuevo resultado.

Algo sobresaliente de Excel es que fue un de las primeras hojas de cálculo que utilizó una interfaz gráfica con menús desplegables y facilitó el programa logrando utilizar el Mouse como puntero con el cual un solo clic permitía introducir la información deseada.

Además de ser una gran herramienta de cálculo, Excel permite que el usuario maneje el programa de forma fácil, dando un menú de ayuda muy completo e interactivo, que indica el como hacer formulas o usar las que ya están predeterminadas en el. [5]

ESO-MIDAS

ESO-MIDAS son las siglas de (European Southern Observatory Munich Image Data Analysis System) que es desarrollado y es mantenido por el Observatorio Austral europeo . Este programa fue creado a finales de los años 80 usando como sistema operativo UNIX.

Este programa tiene como objetivos principales:

- Diseño modular, que hace más fácil adaptarse a diversos ambientes.
- La portabilidad, la cual asegura que MIDAS puede funcionar en diferentes computadores.
- Uso de estándares, como los lenguajes de programación FORTRAN y C y el sistema Window X. El uso de lenguajes de programación estándares permite el uso de distintas herramientas, y hace el cambio a la codificación orientada al objeto más fácil.
- Facilidad para programar, proporcionando rutinas simples del interfaz para tener acceso a los datos, y poniendo un lenguaje de control en ejecución más flexible.

CAPÍTULO 5

Metodología

Obtención de datos y fotos

La obtención del catalogo GSC-ACT [1] se realizó satisfactoriamente, aunque con algunos inconvenientes. Desde un principio la cantidad de datos era muy grande y el computador se demoraba un largo tiempo en bajar las carpetas. Cuando terminamos la obtención de los datos estos tenían un formato .GSC, el cual tenía la información de una forma compacta. En el sitio web de donde se obtuvieron los datos también se encontraba un programa con el cual se podían descomprimir los datos y ponerlos en forma .fits, la cual es útil para trabajar en programas de astronomía como el MIDAS (Munich Image Data Analysis System), pero este software tenía alguna línea

de comando dañada, así que tuvimos que pasar los datos a formato .dat (datos). Los datos venían en carpetas (por diferentes regiones del cielo) las cuales contenían tablas con diferente información, como la posición de cada estrella (ascensión recta y declinación), error en la posición, magnitud fotográfica, clase de objeto y el número de identificación GSC.

Cada archivo en los que estaban las tablas tenía una línea de texto en la que se especificaba cada columna, pero este texto no nos permitía trabajar las tablas, así que se realizó un programa el cual consistía en leer cada carpeta desde la segunda línea, omitiendo así el texto y dejando sólo las tablas. Este programa guardaba las tablas directamente en un archivo .tbl (formato tabla), el cual se puede manejar en MIDAS. El paso siguiente fue borrar los datos que tenían en la columna class un 3, ya que estos no eran estrellas (class 0 = estrellas, class 3 = no estrella). También borramos las columnas en las que no estábamos interesados, dejando sólo las de ascensión recta, declinación y magnitud fotográfica.

Cuando ya teníamos los datos en el formato deseado proseguimos a reordenarlos por magnitudes en cuadrículas de 0,5 grados, esto con el fin de obtener una foto del cielo en cada una de las magnitudes, en la cual cada píxel representara una porción de cielo de 0,5 grados de longitud. La idea era realizar un programa que mirara cada fila en cada tabla y le reasignara su posición de acuerdo a su magnitud en una nueva carpeta, la cual generaría la foto del cielo que deseábamos. El programa se realizó en MIDAS pero no dio resultado así que cambiamos de idea. David Ramírez, quien me colaboró en todo este proceso, sugirió otro método, en el cual se ordenaban las estrellas por magnitud y región en cuadrículas de 0,25 grados mediante la fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Parte entera de } \left(\frac{\alpha}{0,25} + 1 \right) &= \text{ región} \\ \text{Parte entera de } \left(\frac{\delta}{0,25} + 1 \right) &= \text{ región} \end{aligned}$$

Donde α es la ascensión recta y δ la declinación. La suma del 1 se debe a que la primera cuadrícula es la región 1, que va de 0 a 0,25 grados, así que sin esta corrección la fórmula daría cero para la primera región y el computador generaría un error. El programa dio resultado y algunas de las fotos que generamos se muestran a continuación. En las figuras 5.1 y 5.2 se muestra una sección del cielo compuesta por la superposición de las fotos obtenidas hasta magnitud 4. En esta sección del cielo se pueden ver las constelaciones de Orión y Tauro y el cúmulo abierto de las Pléyades. En las figuras 5.3 y 5.4 se han superpuesto las fotos de todas las magnitudes. Notese La Via Lactea en todo su esplendor.



Figura 5.1: Hemisferio norte magnitud 4



Figura 5.2: Hemisferio sur magnitud 4

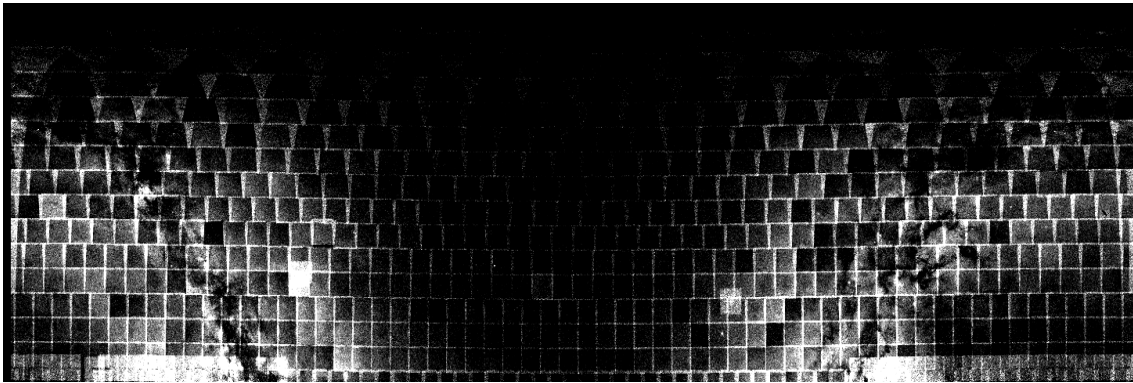


Figura 5.3: Hemisferio norte todas las magnitudes

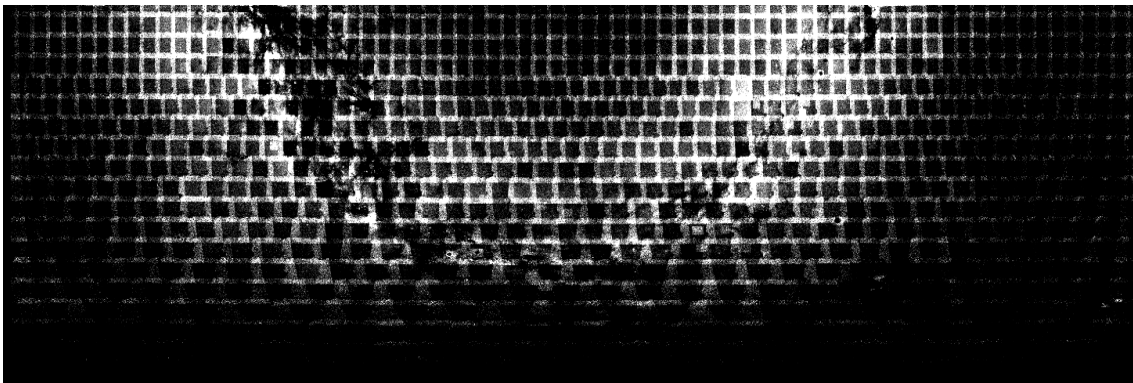


Figura 5.4: Hemisferio sur todas las magnitudes

Análisis de imágenes

Las imágenes tienen 1440 píxeles de largo por 360 de ancho que corresponden a las 360 grados de ascensión recta y a las 90 de declinación divididos en cuadrículas de 0.25 grados. Cada píxel tiene una intensidad que equivale al número de estrellas que estén concentradas en cada cuadrícula. Se obtuvieron dieciséis fotos del hemisferio norte y el mismo número del hemisferio sur, que van desde la magnitud cuatro (en el cual están las magnitudes negativas hasta la 4,99 positiva) hasta la diecinueve (de

magnitudes 18 a 18.99).

Analizando la cantidad (o densidad) de estrellas en cada píxel podemos identificar posibles cúmulos de estrellas, lo cual es el objetivo de este trabajo. Lo primero que se intentó fue analizar las fotos mediante el programa DAOPHOT (un programa profesional para detectar estrellas en fotografía astronómica, y que también calcula la magnitud de cada estrella detectada), pero dado a la complejidad de manejo de este programa y al poco tiempo que quedaba preferimos trabajar con otra herramienta computacional, PICTOR-VIEW. Este programa nos permitió ver las fotos que estaban en formato fits y variar el *background* (fondo) y el *range* (rango de grises) para encontrar visualmente los píxeles de mayor intensidad y por ende mayor número de estrellas. De forma sistemática se fueron variando estos parámetros en cada foto y obteniendo las coordenadas de cada punto brillante en una pareja ordenada X, Y, las cuales fueron consignadas en tablas de Excel.

La tabla con las magnitudes, los *background* y los *range* con que se trabajo se encuentra a continuación. La primera tabla corresponde al norte del cielo y la segunda al sur.

Norte

Magnitud	Background	Range
4 y 5	0	1
6	2	1
7	0, 3	1
8	0, 3, 4	1
9	0, 4	1
10	0, 4	3
11	4, 10	5
12	0, 20, 30	5
13	3, 30	5
14	4, 30	5
15	5, 80	5
16	1, 20	5
17	No	No
18	No	No
19	No	No

Sur

Magnitud	Background	Range
4, 5, 6	1, 2	1
4, 5, 6, 7, 8	1, 5	1
8, 9, 10	2, 6	5
11	1, 10	5
12	2, 20	5
13	3, 40	5
14	4, 40	5
15	8, 55	5
16	4, 35	5
17	No	No
18	No	No
19	No	No

El proceso se realizó de forma manual en los primeros *Background* de cada magnitud que se analizó, ya que existen cúmulos los cuales son grandes en diámetro pero que no contienen una gran cantidad de estrellas, como por ejemplo las Pléyades. Estos cúmulos se pueden reconocer (algunas veces) a simple vista en la foto, pero al cambiar el *Background* a uno más elevado se pierden, porque aparecen muchas estrellas más. Otra razón por la cual se hizo la búsqueda de los primeros cúmulos a ojo, es que este procedimiento es necesario para poderle dar al programa los parámetros de búsqueda. El programa que hicimos se llama *Looking for Stars*. Este detecta los puntos brillantes y los entrega tabulados; es decir, un DAOPHOT sencillo.

Procesamiento de Imágenes

A partir de los archivos de datos FITS (Archivo de datos de MIDAS) se generan las imágenes (Archivos de mapas de bits, formato JPG) correspondientes en escala de grises, eso significa que cada píxel de la imagen puede tomar un valor entre 0 y 255, donde 0 representa el negro y 255 blanco. Para ajustar el contraste se modifican las imágenes de forma manual con los valores de *Background* y *Range* deseados (los que se mostraron en las tablas de la sección anterior) y se guardan en formato JPG. Todo esto tiene el fin usar el programa que se diseñó para encontrar los cúmulos, *looking for stars*.

Se establece un valor de nivel de gris para realizar la selección de píxeles en la imagen; este valor se denomina umbral; entonces, todos los píxeles con valores por debajo de este umbral son reemplazados por el valor 0 (Negro); de lo contrario se conservan los valores originales. Y de esta manera se realiza el filtrado de los píxeles más brillantes en la imagen.

Finalmente el programa *Looking for Stars* hace un barrido de la imagen para obtener las coordenadas (X , Y) de los píxeles cuya luminosidad está dada por la cantidad de datos (estrellas) que se encuentran dentro de estos, generando así un archivo de datos CSV (Archivo separado por comas). Estas coordenadas permiten realizar la búsqueda por ascensión recta y declinación, dado que cada píxel representa una cuadrícula del cielo equivalente a 0.25 grados cuadrados; donde X representa la ascensión recta y Y la declinación.

En el caso particular de este trabajo, el filtro de umbralización y generación de archivos de datos se implementó en Java. El programa se desarrolló en este lenguaje porque permite su ejecución en sistemas operativos WINDOWS o Linux.

El programa *Looking for stars*, recibe como entrada un archivo de texto con el listado de imágenes a procesar; genera los archivos de datos correspondientes para cada imagen con las coordenadas de las estrellas en formato CSV (Archivo separado por comas). Estos archivos pueden ser editados con cualquier software de hoja de cálculo, como MS Excel, OpenOffice, entre otros. Este programa permitió un procesamiento a gran escala.

Proceso para hallar los cúmulos

Para poder usar el programa *looking for stars* se debe preparar la foto de forma que en esta sólo queden los puntos más brillantes y pasarla a formato JPG. El criterio para escoger la foto se realizó previamente mediante el análisis de esta de forma directa, variando el *background* y el *range* para obtener los puntos en los cuales existe una mayor densidad de estrellas. El procedimiento está descrito en la sección de **Análisis de imágenes**. Las imágenes procesadas junto con las tablas de ubicación de dichos puntos se encuentran en el CD que viene adjunto, ya que son varias fotos y las tablas son muy grandes.

Obtención de las coordenadas de los cúmulos

Con las posiciones X, Y de los píxeles más luminosos en tablas de Excel se generó una fórmula para pasar cada coordenada a su equivalente ascensión recta (α) y declinación (δ):

$$\alpha = \text{entero}\left(\frac{2X - 1}{120}\right) \text{ Horas, } \left(\left(\frac{2X - 1}{120}\right) - \text{entero}\left(\frac{2X - 1}{120}\right) \right) * 60 \text{ Minutos}$$

$$\delta = \text{entero}\left(\frac{Y}{4}\right) \text{ Horas, } \left(\left(\frac{Y}{4}\right) - \text{entero}\left(\frac{Y}{4}\right) \right) * 60 \text{ Minutos}$$

Las tablas con las posiciones de los posibles cúmulos se encuentran en el CD adjunto bajo el nombre de Catalogo Norte y Catalogo Sur.

Comparación de los posibles cúmulos hallados con cúmulos ya conocidos

Para corroborar cuales de los puntos luminosos que encontramos eran cúmulos ya conocidos se generó un programa en Excel el cual comparaba las posiciones de nuestro catálogo con un catálogo reconocido de cúmulos abiertos [25] (con 1700 cúmulos) y otro de cúmulos globulares [24] (con 150 cúmulos).

El programa consiste en la siguiente fórmula

$$\text{si } \sqrt{(X' - X)^2 + (Y' - Y)^2} < 3 \text{ devuelva 1 si no devuelva 0}$$

En esta fórmula X' y Y' son las coordenadas de los puntos de nuestro catálogo y X y Y son las coordenadas de los cúmulos ya conocidos. El término < 3 es el margen de error (ya que puede que no coincidan perfectamente y en el caso de cúmulos abiertos como las Pléyades que son de gran tamaño se puede llegar

a omitir alguna coincidencia). Todas las tablas con las comparaciones por cada magnitud se encuentran en el CD adjunto bajo el nombre de COMPARACIÓN DE CATÁLOGOS NORTE Y COMPARACIÓN DE CATÁLOGOS SUR.

A continuación se mostraran las tablas con las coincidencias obtenidas en cada magnitud. Primero se encuentran las del hemisferio norte y después las del sur.

La primera columna corresponde a la magnitud, la segunda a los *Background* que se utilizaron en cada magnitud y en la tercera están las coincidencias para cada magnitud en el *Background* en el que se analizó la foto. Para que sea más claro daremos un ejemplo. En la tercera fila de Norte-cúmulos abiertos tenemos: magnitud 7, los *Background* en los que se analizó la foto fueron 0 y 3, y las coincidencias fueron 9 y 4 respectivamente.

Norte cúmulos abiertos

Magnitud	Background	Coincidencias
4 y 5	0	2
6	2	6
7	0, 3	9, 4
8	0, 3, 4	12, 8, 10
9	0, 4	2, 12
10	0, 4	6, 22
11	4, 10	7, 31
12	0, 20, 30	3, 16, 1
13	3, 30	13, 25
14	4, 30	6, 28
15	5, 80	0, 4
16	1, 20	4, 2
Todas	16, 125, 200	25, 14, 0

Norte cúmulos globulares

Magnitud	Background	Coincidencias
4 y 5	0	0
6	2	0
7	0, 3	0, 0
8	0, 3, 4	0, 0, 0
9	0, 4	0, 0
10	0, 4	0, 0
11	4, 10	0, 0
12	0, 20, 30	0, 0, 0
13	3, 30	1, 1
14	4, 30	0, 0
15	5, 80	0, 0
16	1, 20	1, 1
Todas	16, 125, 200	1, 0, 0

Sur cúmulos abiertos

Magnitud	Background	Coincidencias
4, 5 y 6	1, 2	6, 6
4, 5, 6, 7 y 8	1, 5	46, 52
8, 9 y 10	2, 6	19, 103
11	1, 10	8, 80
12	2, 20	2, 137
13	3, 40	2, 71
14	4, 40	0, 9
15	8, 55	4, 6
16	4, 35	13, 7
Todas	16, 125, 200	34, 14, 8

Sur cúmulos globulares

Magnitud	Background	Coincidencias
4, 5 y 6	1, 2	0, 1
4, 5, 6, 7 y 8	1, 5	0, 1
8, 9 y 10	2, 6	21, 6
11	1, 10	0, 8
12	2, 20	0, 9
13	3, 40	0, 6
14	4, 40	0, 0
15	8, 55	0, 0
16	4, 35	0, 1
Todas	16, 125, 200	2, 1, 1

CAPÍTULO 6

Diagramas HR de algunos de los cúmulos encontrados

En este capítulo mostraremos algunos de las diagramas HR realizados para algunos de los cúmulos que se encontraron en nuestro catálogo. Primero mostraremos el diagrama HR de las Pléyades, un cúmulo abierto relativamente joven (unos 100 millones de años [12]), en el cual se ve perfectamente la secuencia principal. Después el de M3, un cúmulo globular de mediana edad (10.000 millones de años [13]) en el cual se muestran las características más notorias de los cúmulos globulares.

En la figura 6.3 se muestra el diagrama HR de un cúmulo abierto llamado IC 4756. Note que este diagrama no es tan claro como el de la Pléyades.

A continuación mostramos el Diagrama HR de una de las esquinas en las cuales se mostraba un gran número de estrellas, pero que en verdad no era un cúmulo.

Por ultimo mostraremos el diagrama HR del cúmulo NGC 2112, el cual se ve como un punto muy brillante en la carpeta **Catálogo cúmulos abiertos todas las magnitudes BK 200**. Este diagrama se ve en la grafica 6.5. No es muy claro, pero se ve que muestra el comportamiento típico de la secuencia principal. Al realizar la grafica de la posición encontramos algo muy interesante (grafica 6.6), lo cual será analizado más adelante con la ayuda de la grafica 6.7.

Todos estos diagramas fueron realizados con los datos del catalogo de estrellas GSC versión 2.1 de 455.851.237 de datos [14].

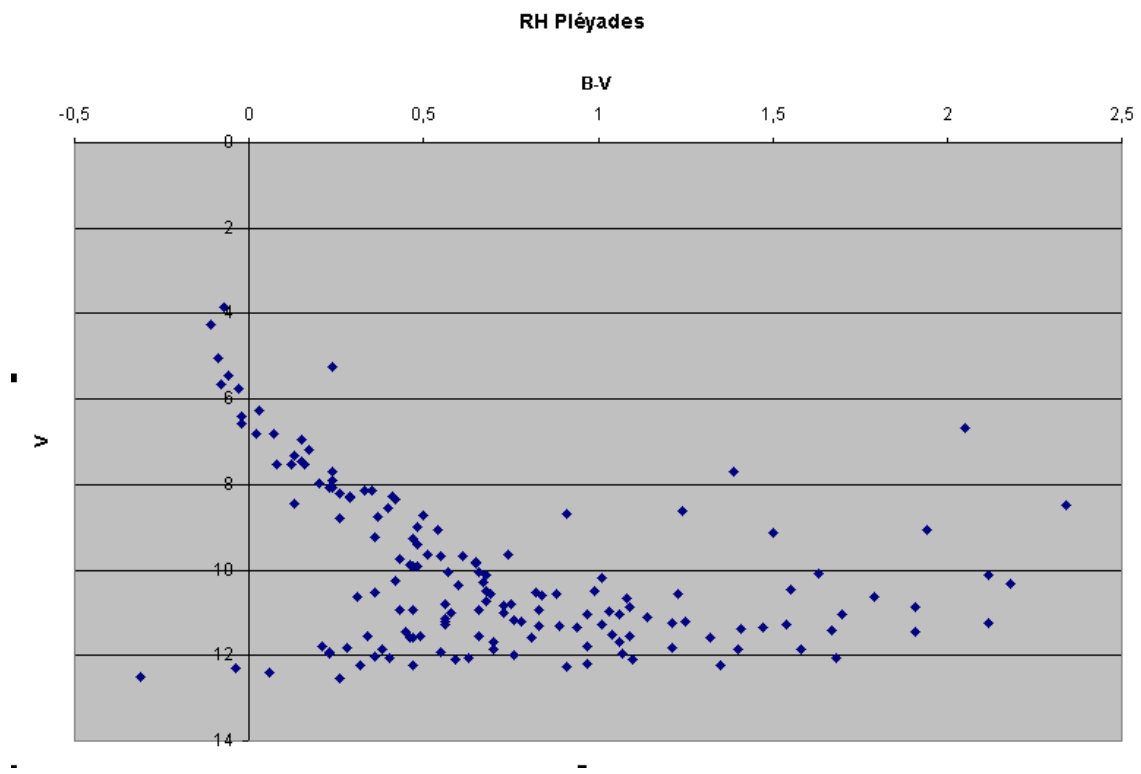


Figura 6.1: HR Pléyades

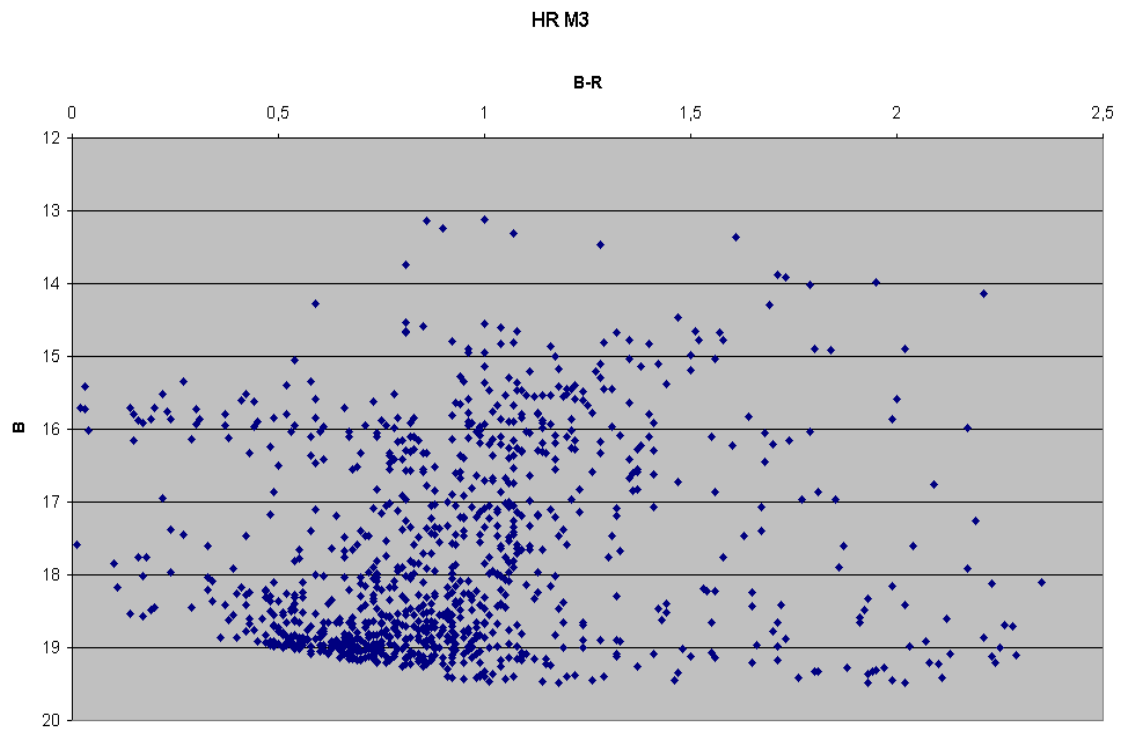


Figura 6.2: HR M3

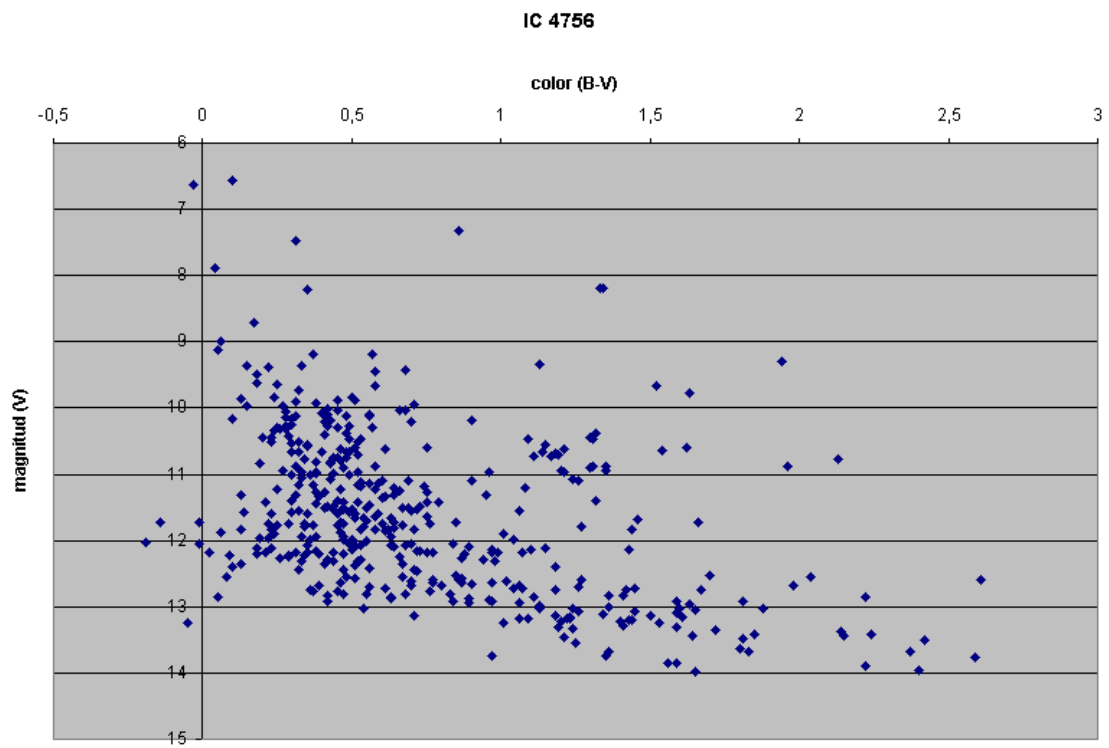


Figura 6.3: HR IC 4756

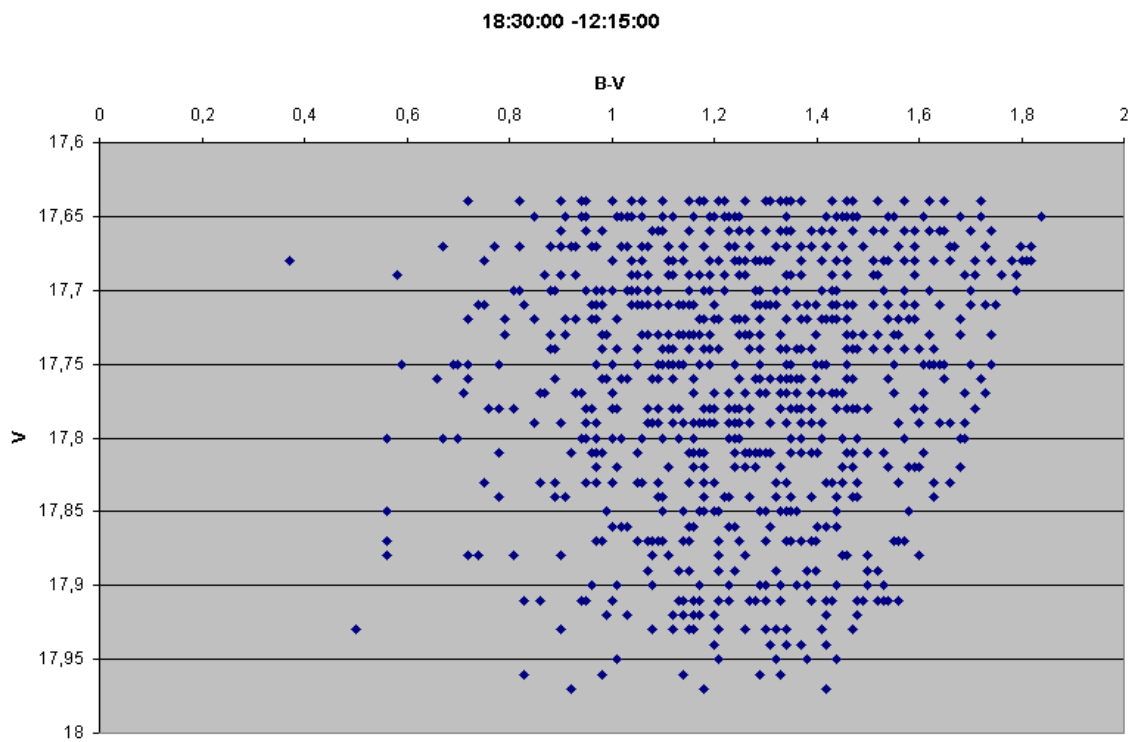


Figura 6.4: Se ve perfectamente que no es un cúmulo

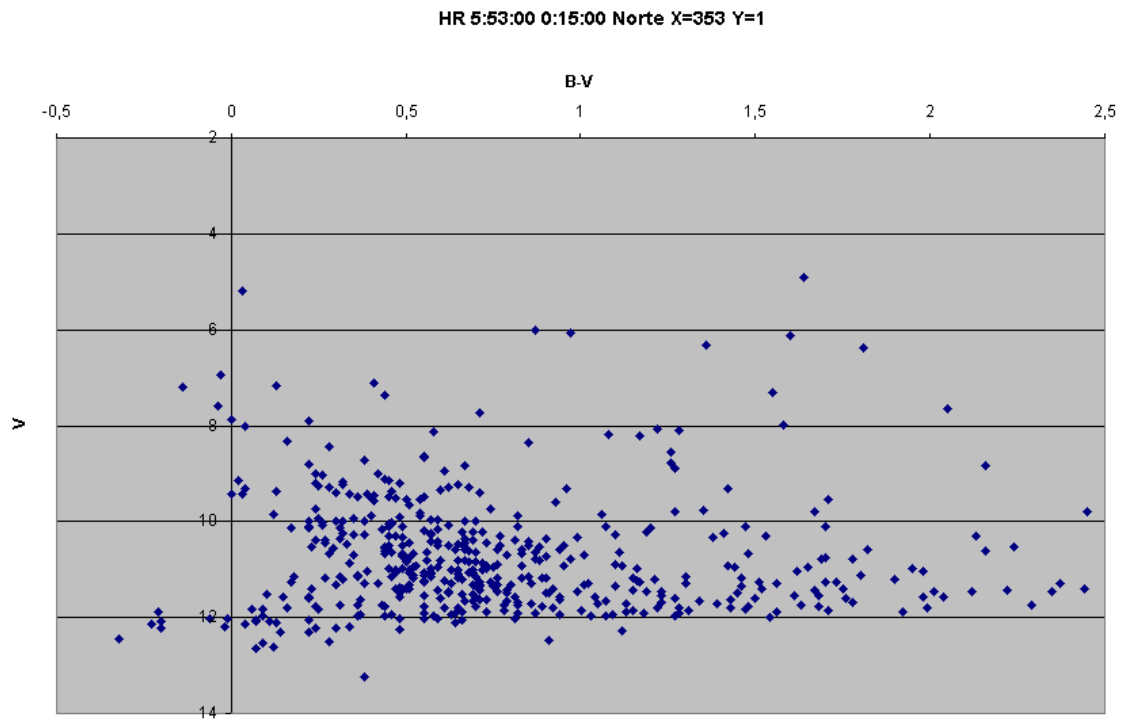


Figura 6.5: HR NGC 2112

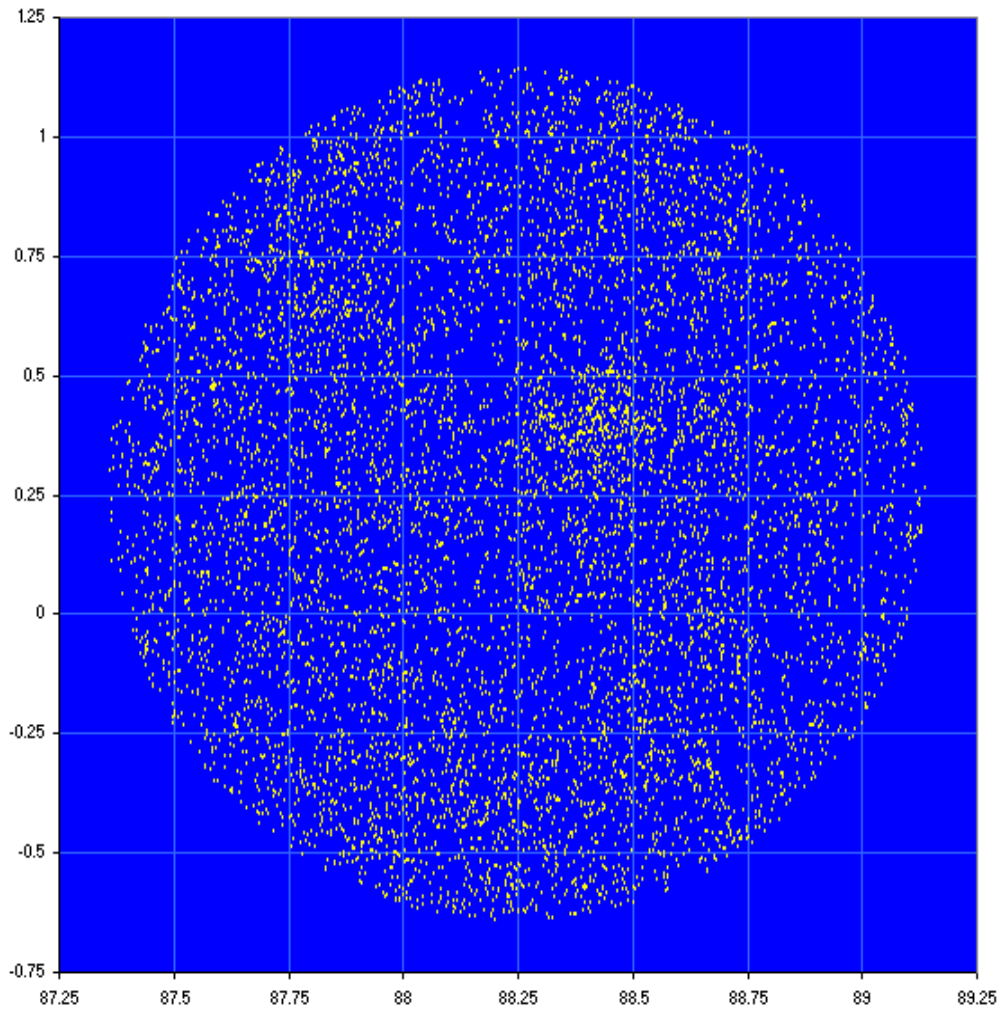


Figura 6.6: La acumulación de estrellas es evidente en la ascensión recta 88,4deg y declinación 0,4deg. Este es el cúmulo NGC 2112. También se puede ver una pequeña agrupación de estrellas en las coordenadas AR=88,68deg; DEC=0deg

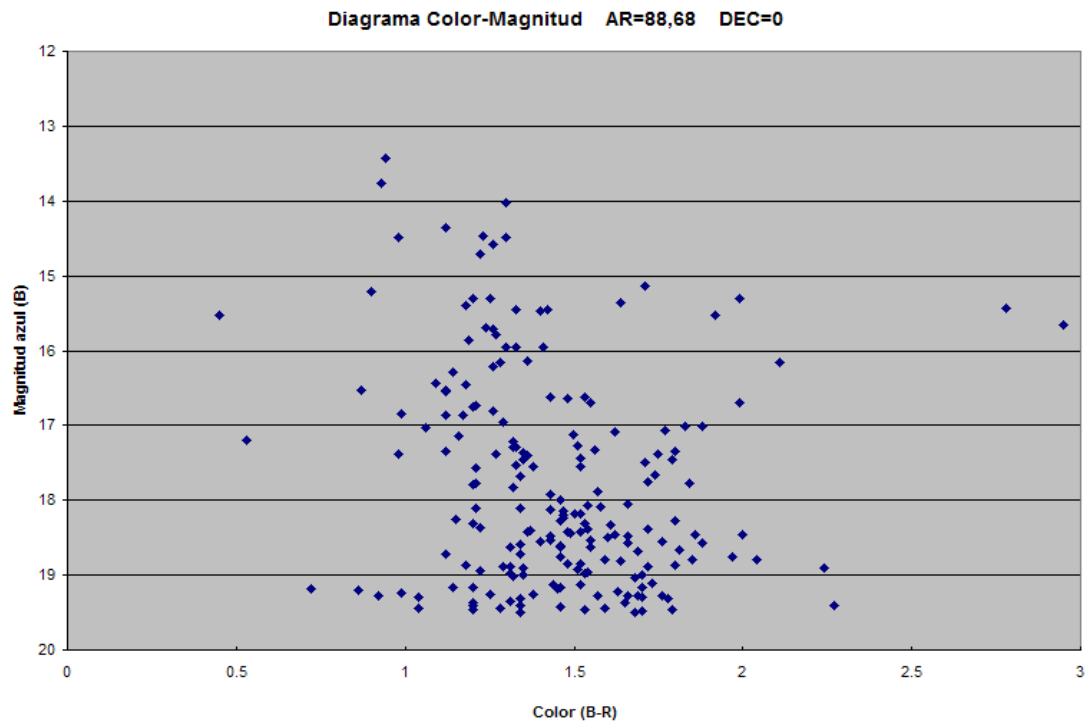


Figura 6.7: El diagrama HR de este sector del cielo (AR=88,68deg; DEC=0deg) muestra una similitud con la secuencia principal característica de un cúmulo

CAPÍTULO 7

Análisis de resultados

Análisis de las tablas halladas en el capítulo 5

Como se pudo ver en la sección Cúmulos hallados vs. Conocidos, la coincidencia de los cúmulos que nosotros encontramos no fue muy alta en comparación con los catálogos conocidos. Sobre todo en las magnitudes altas, con *Background* altos se tenían muchos datos pero no muchas coincidencias. Esto se debe al catálogo que escogimos (GSC-ACT), ya que este está constituido por pequeñas fotos unidas por sus lados. Al poner una foto al lado de la otra no tuvieron cuidado en que las fotos no se superpusieran la una con la otra, lo que generó que justo en la unión de cada foto quedaran sectores con estrellas repetidas, es decir, muchas más estrellas de lo

que en verdad habían. El caso extremo se presenta en la unión de cuatro fotos (las equinas), ya que en estos puntos se llega a cuadruplicar el número de estrellas y son justamente estos puntos los que hacen que nuestro método no sea completamente efectivo.

El programa *Looking of stars* se basa en la búsqueda de puntos muy luminosos, en los cuales se encuentran grandes agrupaciones de estrellas las cuales podrían ser cúmulos. Si el catálogo de estrellas es uniforme y no presenta problemas de superposición, el programa que desarrollamos daría la posición de los puntos más brillantes, los cuales serían posibles cúmulos. Con el problema que se nos presentó, el programa reconoce a las esquinas en las que se interceptan cuatro fotos como posibles cúmulos y descarta a los verdaderos por estar por debajo de la luminosidad de dichos puntos. En las figuras 5.3 y 5.4 se puede ver claramente cada hemisferio subdividido por las cuadrículas que forman las estrellas al superponerse.

Análisis de los diagramas HR

Los diagramas color-magnitud de las paginas 50-55 son construidos con datos fotométricos obtenidos de otro catálogo, una versión aumentada del GSC que contiene más de 400 millones de estrellas, y ofrece sus magnitudes en tres colores diferentes: Rojo (R), Visual (verde, V) y azul (B). La diferencia entre dos magnitudes en diferentes bandas de color constituye un índice de color. El índice más común, B-V, tiene valores entre -0,5 (para estrellas muy calientes) y +2 (para estrellas frías). El primer diagrama muestra de forma muy clara la secuencia principal. En este se ve que el cúmulo (las Pléyades) está compuesto por estrellas jóvenes, aunque ya tiene algunas que están empezando la etapa para convertirse en gigantes rojas. Esto es visible ya que la parte superior izquierda de la grafica está empezando a curvarse hacia la

derecha.

En el segundo diagrama se puede ver que el cúmulo globular M-3 es mucho más viejo que el anterior y que muchas de sus estrellas son gigantes rojas. La línea de estrellas que se ve en magnitud B 16 nos dice que algunas de las estrellas del cúmulo se convirtieron en enanas blancas.

Aunque el tercer diagrama muestra un cúmulo abierto llamado IC 4657, se ve que este diagrama no es tan claro como el primero, porque hay bastantes estrellas que no pertenecen al cúmulo. También encontramos una aglomeración de posibles gigantes rojas en la magnitud $V = 11$ con índice de color entre 1 y 1.5, lo que nos dice que este cúmulo no es muy joven.

En el diagrama de la gráfica 6.4 encontramos un desorden absoluto. No se ve ningún patrón característico. Esto era de esperarse ya que el diagrama está realizado con las coordenadas de una esquina en la que se intersecaban cuatro de las fotos generadas por el catálogo GSC-ACT, y la alta densidad de estrellas no representa ningún cúmulo.

El diagrama de la gráfica 6.5 muestra el cúmulo NGC 2112. Aunque el diagrama no es muy claro si se ve la secuencia principal. En las coordenadas $AR = 88,4\text{deg}$ y $DEC = 0,4\text{deg}$ se ve claramente el cúmulo NGC 2112, pero en $AR = 88,68\text{deg}$ y $DEC = 0\text{deg}$ también se ve una aglomeración de estrellas que podría ser un cúmulo, el cual no encontramos en los catálogos con los cuales se hizo la comparación [25][24], ni en el catálogo de Dias, pero cuyo diagrama HR muestra un comportamiento similar al de la secuencia principal. Es importante anotar que este posible cúmulo no fue encontrado mediante el análisis hecho con el programa *looking for stars*, sino que se encontró mediante la observación directa de la gráfica 6.6, lo que nos hace pensar que este método de análisis puede no ser muy efectivo a la hora de encontrar pequeños cúmulos que se encuentren cercanos a grandes cúmulos como en este caso. Este posible cúmulo podría ser un buen punto de investigación.

CAPÍTULO 8

Conclusiones

En términos generales se cumplió con el objetivo principal de este trabajo. Hicimos un programa que analiza y devuelve las coordenadas de los puntos más brillantes en una foto. El verdadero problema fue el catálogo con el que se realizó la búsqueda, ya que no contábamos con que las imágenes que formaban cada uno de los hemisferios estuvieran superpuestas en sus orillas.

A pesar de esta complicación se encontraron varios cúmulos, cuyo diagrama HR corroboró que estábamos haciendo las cosas bien.

La aglomeración de estrellas hallada cerca de NGC2112, es una excelente motivación para continuar con este trabajo y tratar de mejorarlo. Este es un gran paso para

seguir en la búsqueda de cúmulos en nuestra galaxia, ya que no todo está descubierto.

El método que se siguió fue bueno, puesto que de manera sistemática se analizaron las fotos con las que contábamos. Aunque en los *Background* más bajos (los más bajos trabajados en cada magnitud) se tuvo que hacer el análisis mediante la observación directa (sin usar el programa *Looking for stars*) ya que la distancia entre las estrellas en los cúmulos abiertos es en ocasiones mayor a un grado, con lo cual se ven en la foto como puntos grandes mas no luminosos. Este es el caso del cúmulo abierto M44 (el Pesebre o Colmena).

El diagrama HR de los cúmulos que se mostraron en el capítulo 6 fue de gran ayuda, ya que estos nos muestran qué características deben tener los cúmulos dependiendo de si son abiertos o globulares y que no todos los diagramas son tan perfectos como la literatura nos muestra (en el caso de IC 4756). Además corroboramos que no cualquier punto brillante en la foto era un cúmulo y que las esquinas en las intersecciones de las fotos que formaban cada hemisferio nos causaron problemas a la hora de la detección adecuada de los cúmulos.

Propuestas para mejorar nuestro método

Para mejorar las técnicas de análisis de las imágenes para detectar cúmulos, proponemos que se trabaje con otro programa como el DAOPHOT, o que se mejore el programa que nosotros realizamos (*Looking for stars*).

Por ejemplo, el DAOPHOT compara el brillo de un punto luminoso con el nivel de fondo en los alrededores inmediatos, eliminando la necesidad de escoger a mano

los niveles de *background*. Cuando el cúmulo cubre varios píxeles, este programa también calcula las coordenadas exactas del centro. En vez de trabajar con Excel se podría tratar de hacer un programa en C o algún otro lenguaje de programación que indique al final de la búsqueda las coordenadas del posible cúmulo y si este es conocido o no (si ya está en un catálogo). Tal programa deberá tener incluidos los catálogos de cúmulos ya conocidos y deberá recibir como entrada los datos que se crean en el programa DAOPHOT o *Looking for stars* en forma de parejas ordenadas. El algoritmo que se debe seguir debe incluir la fórmula para el cambio de coordenadas (de parejas ordenadas X, Y a ascensión recta y declinación o viceversa) y un método de comparación como el que se hizo en Excel. Esta propuesta se hace ya que es un poco dispendioso trabajar con tablas tan grandes de Excel. Lo más importante para obtener mejores resultados en este trabajo, es el cambiar de catálogo por uno que no presente la superposición que se da en el GSC-ACT, porque por más que se refine el programa siempre se van a detectar estos puntos súper-brillantes que en realidad no son nada y que van a opacar a los verdaderos cúmulos hasta el punto de que pasen desapercibidos. También recomendamos utilizar un catálogo aun más grande, porque con el GSC-ACT, aunque tiene más de 10 millones de estrellas, sólo encontramos una fracción de los cúmulos ya conocidos. El reto será trabajar con una base de datos del orden de 470 millones de estrellas, como por ejemplo el 2MASS (2-Micron All Sky Survey), que contiene magnitudes de estrellas en tres bandas en el infrarrojo.

Bibliografía

- [1] ftp://cdsarc.u-strasbg.fr/pub/cats/I/255/GSC_ACT/
- [2] Digital image processing, R. González, P. Wintz, 2da. edición, Addison-Wesley, 2002.
- [3] Introducción al procesamiento digital, M.G. Forero Vargas, 2002.
- [4] <http://www.meade.com/catalog/pictor/pvrev.html>
- [5] <http://www.microsoft.com/spain/office/products/excel/default.msp>
- [6] <http://www.xtec.es/~rmolins1/univers/fotos/gal0.jpg>
- [7] <http://www.astromia.com/fotouniverso/fotos/esquimal.jpg>
- [8] http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/9709/47tuc_wc_big.gif

-
- [9] <http://www.especial.org/images/jpg/pleyades.jpg>
- [10] <http://www.astrodomi.com.ar/universo/estrellas/hr/hr.jpg>
- [11] http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Hertzsprung-Russell
- [12] [http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A9yades_\(astronom%C3%ADa\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A9yades_(astronom%C3%ADa))
- [13] <http://www.cielosur.com/messier.php>
- [14] <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-3>
- [15] Ivan Zolotukhin, Sergey Kuposov, Elena Glushkova. Search for New Open Clusters in Huge Catalogs. Astronomical Data Analysis Software and Systems XV ASP Conferences Series, Vol. XXX, 2005. P.147
- [16] <http://es.wikipedia.org/wiki/Estrella>
- [17] http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_HR
- [18] http://www.seds.org/messier/xtra/supp/mw_gc.html
- [19] http://www.geocities.com/stellar_clusters/Evolution.htm
- [20] <http://www.ngcic.org/papers/gctext.htm>
- [21] <http://www.univie.ac.at/webda/>
- [22] <http://www.seasky.org/cosmic/Section%203#Section%203>
- [23] <http://www.seds.org/messier/links#links>
- [24] <http://physwww.mcmaster.ca/harris/mwgc.dat>
- [25] <http://www.astro.iag.usp.br/wilton/clusters.txt>