

Universidad de Nariño
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física



**FOTOMETRÍA CCD, UBURI DE CÚMULOS ESTELARES
ABIERTOS GALÁCTICOS**

TRABAJO DE GRADO

Para optar el título profesional de:

Físico

SOCORRO KATHERINE MAFLA OLIVA

San Juan de Pasto, Colombia

Mayo 2016

Universidad de Nariño
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Departamento de Física

FOTOMETRÍA CCD, UBVRI DE CÚMULOS ESTELARES ABIERTOS GALÁCTICOS

SOCORRO KATHERINE MAFLA OLIVA

TRABAJO DE GRADO

Director:

Dr. en Astrofísica William J. Schuster
Mgs. en Astrofísica Alberto Quijano Vodniza

San Juan de Pasto, Colombia

Mayo 2016

©2016 - SOCORRO KATHERINE MAFLA OLIVA

“Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1. del acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Todos los derechos reservados.

Nota de Aceptación

Director

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, Mayo 2016

Agradecimientos

A Dios por haberme dado una nueva oportunidad de vida, por haberme iluminado y guiado para poder terminar mi carrera, convirtiéndose en mi compañero inseparable en estos momentos más difíciles. La vida me ha colocado pruebas, las cuales estoy superando con la ayuda de Dios y con el apoyo de personas especiales que me han acompañado en todos los momentos.

A mis padres por entregarme su vida, por ser mi apoyo incondicional, gracias por sacrificarse en conseguir mi bienestar, gracias por recordarme cada día lo importante que soy en sus vidas.

A mi madrina Lucy Aguilera por ser mi apoyo incondicional, por ser una persona iluminada por Dios, dotada de un corazón inmenso, de una alma pura y noble, que en cada momento y en cada obstáculo ha sido mi puntal y mi apoyo para seguir adelante. Gracias mamita por nunca desconfiar de mis capacidades. No tengo palabras para agradecerle simplemente rogar a Dios para que siga apoyando a las personas más necesitadas.

Un agradecimiento especial al Profesor Alberto Quijano Vodniza, por haberme enseñado lo maravilloso que es el universo, y desinteresadamente impulsarme al estudio de la ciencia. Para mí es un orgullo el haber sido su alumna y haberme enseñado todos sus valores como persona. Gracias por su confianza y por haberme permitido conocer otras partes del mundo. Al profesor Álvaro Rúgeles, por estar pendiente de mí y nunca desconfiar de mis capacidades. Por haberme enseñado el verdadero valor de una amistad. Mil gracias.

A la Universidad de Nariño y la facultad de física por haberme apoyado a cumplir mis sueños, por impulsarme a compartir mis conocimientos en diferentes partes del mundo y formarme como profesional.

Este logro está dedicado a mis padres y a mi madrina, por estar incondicionalmente en mis buenos y difíciles momentos. Cada día que despertaba mis sueños desfallecían, pero el hecho de tenerlos a lado mio, se ha convertido en el motor de mi vida.

FOTOMETRÍA CCD, UBVRI DE CÚMULOS ESTELARES ABIERTOS GALÁCTICOS

Resumen

En el siguiente trabajo se realizó el análisis fotométrico CCD en la región de los cúmulos abiertos NGC 957 Y NGC 6819, a partir de la base de datos generada en el Observatorio de la Universidad Nacional Autónoma de México, Baja California, con el fin de obtener los diferentes parámetros físicos correspondientes a edad, metalicidad y modulo distancia para cada uno de los cúmulos. Se determinó de acuerdo a los análisis obtenidos para el cúmulo NGC 6819 se da la posibilidad de la existencia de un conjunto de estrellas conocidas como BLUE STRAGGLERS, las cuales no evolucionan a través de la secuencia principal y para el cúmulo NGC 957 la existencia de un cúmulo que no corresponde a esta familia.

CCD PHOTOMETRY, UBVRI OF GALACTIC OPEN CLUSTERS

Abstract

On the following piece of work it was developed a CCD photometric analysis in the región of the open cluster NGC 957 and NGC 6819 by taken into account the database of the Observatory of National Autonomous University of Mexico, Baja California. The purpose of this study was to obtain the physical parameters related to age, metallicity and module distance for each one of the cluster. According to the análisis done to the cluster NGC 6819 it was determined that there is the possibility of a set of stars known as BLUE STRAGGLERS, which are not evolving through the principal sequence and according to the results from the cluster NGC957 it is evident the existence of a cluster the do not belong to this family.

Contenido

Título	i
Agradecimientos	iv
Dedicatoria	v
Resumen	vi
Abstract	vii
Lista de Figuras	x
Lista de Tablas	xi
Glosario	xii
1 Introducción	1
2 Marco teórico	3
2.1 Fotometría	3
2.2 Cúmulos estelares galacticos abiertos	5
2.3 Sistemas fotometricos	5
2.4 Estado evolutivo de los cúmulos	5
2.4.1 Diagrama H-R	5
2.4.2 Índice de Color	7
2.4.3 Diagrama color-color	8
2.4.4 Diagrama color-magnitud	8
2.5 Calibración del sistema estandar y determinación de parametros físicos	9
2.5.1 Extinción atmosferica	9
2.5.2 Excesos Fotometricos	11
2.5.3 Indice de Metalicidad [F_e/H]	13
2.6 Instrumentación	14
2.6.1 Telescopio	14
2.6.2 Camara CCD	14
2.6.3 Filtros	15
2.6.4 Cúmulos de estudio	17
2.6.5 Software utilizado	18
3 Resultados experimentales	20
3.1 Resultados NGC 6819	21
3.2 Resultados NGC957	23
4 Listas	31

5 Conclusiones y recomendaciones	32
ANEXOS	33
A Código del programa	33

Lista de Figuras

2.1	Diagrama HR teórico	8
2.2	diagrama Color–Color	9
2.3	Distribucion espacial ubicado hacia el brazo de Perseus	18
3.1	Imagen NGC6819 tomada en SPM	21
3.2	Diagrama CC NGC6819 HYADES	22
3.3	Diagrama CC NGC6819 SOLAR	23
3.4	Diagrama CM NGC6819	25
3.5	Diagrama CM NGC6819	26
3.6	Diagrama CM NGC6819	27
3.7	Imagen NGC957 tomada en SPM	28
3.8	Diagrama CC NGC 957	28
3.9	Diagrama CM NGC957	29

Lista de Tablas

2.1	Tabla 1. Sistemas fotométricos	6
3.1	Tabla 2. Resultados experimentales NGC 957	24
3.2	Tabla 3. Resultados experimentales NGC 6819	30

Glosario

- Cúmulo estelar:** Se define como un conjunto de estrellas relacionadas, que permanecen juntas por efecto de la gravitación
- Cúmulos abiertos:** Se considera un cúmulo abierto a un conjunto de estrellas, las cuales no poseen forma definida y se ubican en el disco galáctico.
- Gradiente de Metalicidad:** ES un indicador de la evolución de la galaxia
- colores:** Nos brindan información sobre la temperatura a la que se encuentran las estrellas. Se definen como la diferencia de los filtros.
- Enrojecimiento Interestelar:** Se debe al medio interestelar (polvo) que se encuentra entre nosotros y el cúmulo de estudio.
- Absorción Normal:** En regiones normales es un efecto que es parte del mismo proceso de enrojecimiento, solo que considera la magnitud visual de las estrellas.
- Isocronos:** Son diagramas modelados de CM, tipo HR, suponiendo que todas las estrellas tienen la misma edad.
- Line Blanketing:** Es el encubrimiento de las líneas metálicas. Éste es muy fuerte en el filtro U, menor en el filtro B y casi nulo en los otros tres filtros V,R e I.

Capítulo 1

Introducción

En el campo de la fotometría se encuentran diversas clases, pero el método que se utilizó en el estudio fue la fotometría CCD, para la cual se obtienen imágenes a través de filtros, usando como detector un CCD, ya que es uno de los métodos donde la sensibilidad es diferente y para ello en este proceso es fundamental obtener las imágenes de calibración.

Un cúmulo estelar es un grupo de estrellas atraídas entre sí por su gravedad mutua. Estos cúmulos se clasifican en dos tipos los *cúmulos globulares* y los *cúmulos abiertos* (o galácticos). Los cúmulos estelares ayudan a comprender la evolución estelar, debido a que son estrellas formadas en la misma época a partir del material de una nube molecular. También representan un importante paso en la determinación de la escala del Universo. Los cúmulos abiertos jóvenes y asociaciones estelares han sido utilizados para varios propósitos, entre ellos determinar la estructura del brazo espiral, mapear la curva de rotación de la Galaxia e investigar mecanismos de formación estelar. En cambio los cúmulos abiertos viejos son excelentes para explorar la evolución del disco temprano, sus miembros más brillantes son una línea fuerte de gigantes rojas que son utilizadas para determinar la velocidad radial y la composición del disco galáctico.

Las investigaciones realizadas a este tipo de cúmulos, ha permitido dar una aproximación de la composición química del material primordial y la edad del Universo. Por tanto en el Observatorio Astronómico Nacional de la Universidad Nacional Autónoma de México, sede Ensenada, Baja California se encuentra trabajando con 40 cúmulos galácticos abiertos con el fin de realizar una propia base de datos, debido a que es muy escasa la información que se encuentra en las páginas reconocidas a nivel internacional. El proyecto de investigación *FOTOMETRÍA CCD, UBVRI DE CÚMULOS ESTELARES GALÁCTICOS ABIERTOS*, busca

analizar la evolución estelar de los cúmulos **NGC957** y **NGC6819**, con el fin de aportar información a la base de datos, que ayudara no solo al conocimiento de la galaxia sino al desarrollo de proyectos de alta calidad que puedan desarrollar estudiantes y otros investigadores de la región.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1 Fotometría

La fotometría se considera como una rama de la astronomía que proporciona una medida directa del flujo de energía recibido de los objetos celestes en un intervalo de longitud de onda. Mediante el uso de la fotometría, permite determinar información muy valiosa de los objetos observados, es decir utilizando esta técnica es posible clasificar las estrellas utilizando un diagrama color-color, análisis de una curva de luz, con el fin de determinar ciertos parámetros físicos que caracterizan a los objetos celestes.

Los orígenes de la fotometría se remontan hasta la época de la antigua Grecia, donde el astrónomo Hiparco de Nicea elaboró el primer catálogo estelar que se conoce con un total de 850 estrellas. Hiparco, estableció la clasificación de brillo de cada una de ellas por algo que denominó *magnitud*, en concreto estableció seis magnitudes, siendo las estrellas de magnitud 1 las más brillantes y las de magnitud 6 las menos brillantes de todas.

Dentro de la aplicación de la Fotometría, existen diferentes métodos de acuerdo al detector empleado, clasificándolos en:

- **Fotometría visual:** El detector utilizado es el ojo, donde las observaciones a simple vista presentan un límite de magnitud, en este caso con magnitud 6, el cual distingue diferencias del 2% en iluminación.
- **Fotometría fotográfica:** Este método consiste en obtener imágenes de un campo a través de un filtro empleando como detector una placa fotográfica, donde la combinación entre la respuesta de emisión y la transmisión del filtro, definen la banda de paso.

- **Fotometría Fotoeléctrica:** Esta técnica emplea un fotómetro acoplado a un telescopio, el detector es una fotocélula, un fotodiodo o un fotomultiplicador.
- **Fotometría CCD:** El elemento principal es un chip del tipo CCD (arrastre y conteo de electrones), su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico, la cual tiene una determinada resolución espacial que se mide en pixels.

La técnica a utilizar en el trabajo de grado, es la **fotometría CCD** para ello se realiza un estudio detallado para su comprensión. Dentro de esta técnica se emplean imágenes de calibración, las cuales se clasifican.

- **DARK** se define como la imagen de corriente de oscuridad, es decir es una exposición en ausencia de señal externa, la cual se obtiene sin abrir el obturador.
- **BIAS** Es un DARK de exposición nula, es decir con esta imagen se puede medir el punto cero del amplificador.
- **FLATFIELD** Es una imagen que permite determinar la variación espacial de sensibilidad, es decir de pixel a pixel para corregir el efecto mencionado, para la exposición se apunta a un campo uniforme. Dentro de este campo se puede obtener FLATFIELD en el interior utilizando lámparas ó apuntando al cielo libre de objetos, es recomendable realizar este tipo de imágenes en los crepúsculos. Es importante tener en cuenta que para los FLATFIELD dependen del CCD y del filtro utilizado.

Para luego realizar una calibración paso a paso es decir

1. Combina los DARKs, mediante la siguiente rutina $DARK_{i,j}$
2. Selecciona y combina los FLATs, $FF_{i,j}$
3. Corrige FLATs de corriente oscura, utilizando los DARKs y los FLATs, mediante el siguiente proceso $FF_{ij} = FF_{i,j} - DARK_{i,j}$
4. Corrige las imágenes sin ningún tipo de procesamiento, empleando $X_{i,j} - DARK_{i,j}$

5. Corrige la variación espacial de sensibilidad $I_{i,j} = X_{i,j}/FF_{i,j}$

Todo el proceso de calibración, se realiza mediante el uso de programas como IRAF, o ejecuciones propias de cada cámara CCD, para el trabajo de investigación en proceso se utilizó IRAF, (Programa establecido en el Observatorio de San Pedro Martir).

2.2 Cúmulos estelares galácticos abiertos

2.3 Sistemas fotométricos

Se considera un método empleado para medir la radiación que llega de las estrellas en anchos de banda finitos, centrado en longitudes de onda dadas.

Los dos sistemas fotométricos más conocidos son el **UBVRI**, desarrollado por *Johnson* y *Morgan* y el de *Coussion*. Ambos son de banda estrecha.

Las siglas **UBVRI** corresponden al color de los diferentes filtros y a la luz estelar que filtran. La fotometría UBVRI es una técnica de análisis del espectro electromagnético en la que se toman bandas anchas de los colores desde los 3000 Å hasta los 9000 Å. Los filtros para cada sistema fotométrico con su respectiva longitud de onda, se expresan en la tabla 1.

2.4 Estado evolutivo de los cúmulos

2.4.1 Diagrama H-R

Una de las maneras gráficas donde se pueden observar las propiedades de las estrellas es por medio del **diagrama de Hertzsprung-Russell** ó **diagrama H-R**. Un diagrama HR es una relación que existe entre la luminosidad con respecto a la temperatura. En algunos casos este diagrama relaciona parámetros asociados a la luminosidad y la temperatura, tales como magnitud absoluta o aparente, tipo espectral o color del objeto estelar en estudio, respectivamente. Este diagrama fue propuesto por el astrónomo danés Ejnar Hertzsprung y utilizado por el astrónomo estadounidense Henry Norris Russell.

Sistemas Fotometricos	Filtro	λ_0	$\Delta\lambda_{1/2}$
UBVRI (Johnson-Morgan)	U	3650 Å	700 Å
	B	4400	1000
	V	5500	900
	R	7000	2000
	I	9000	2000
<i>uvby</i> – β (Strömngren- Crawford)	u	3500 Å	340 Å
	v	4100	200
	b	4700	170
	y	5500	240
	β	4861	30,150

Tabla 2.1: Sistemas fotometricos

En un cúmulo estelar, las estrellas no quedan igualmente distribuidas en el diagrama, sino que se observa una banda diagonal, conocida como la secuencia principal. Las estrellas evolucionan y cambian su luminosidad y su temperatura a lo largo de sus vidas, por lo tanto, describen una trayectoria en el diagrama H-R. Si se localiza una nube interestelar, ésta por su gran tamaño posee una luminosidad integrada alta y una temperatura superficial baja, por lo que se localizará en la parte superior derecha del diagrama H-R. Después del colapso gravitacional isotermico y dependiendo de su masa, la protoestrella se encontrará en la parte inferior derecha.

Durante la acumulación de masa del núcleo opaco o protoestrella, la superficie se calentará y su brillo aumentará, por lo tanto, el objeto se moverá hacia la izquierda y un poco hacia arriba en el diagrama H-R. Ver fig. 3,1 para su comprensión.

Cuando la temperatura en el núcleo de la protoestrella alcanza un millón de grados Kelvin comienzan los procesos de generación de energía por fusión nuclear que convierte al hidrógeno abundante en helio, mediante las reacciones protón-protón (pp). En este momento, cuando se inician las reacciones nucleares, la estrella nace como tal y su traza alcanza la secuencia principal. La mayor parte de las estrellas se encuentran sobre la secuencia principal, que van desde estrellas muy frías y poco luminosas a estrellas calientes y muy brillantes. En la fig. 3,1, se observa en la parte de arriba a la derecha se encuentran las estrellas muy brillantes y frías llamadas **gigantes rojas**. Las estrellas más luminosas son las **supergigantes**. A la izquierda y debajo de la secuencia principal se encuentran las llamadas **enanas blancas**, estrellas poco luminosas pero muy calientes, mientras que en el extremo frío de la secuencia principal, se encuentran las llamadas **enanas marrones**. En la zona fría por encima de la secuencia principal, se encuentran las **estrellas T Tauri**, estrellas asociadas a las nubes moleculares del medio interestelar. A la izquierda, arriba de la secuencia principal se encuentran los **centros de nebulosas planetarias**, estrellas asociadas con nebulosas brillantes en expansión. Por lo tanto las diferentes zonas en el diagrama HR corresponden a diferentes fases evolutivas en la vida de la estrella.

2.4.2 Índice de Color

La magnitud aparente y absoluta mide sobre todas las longitudes de onda la luz emitida por una estrella, son conocidas como magnitudes bolométricas.

El color de una estrella puede ser determinado utilizando filtros que transmiten luz de la estrella solo para determinados anchos de banda. En el sistema estándar UBV una estrella de magnitud aparente es medida a través de tres filtros y son designados.

- U la estrella de magnitud ultravioleta

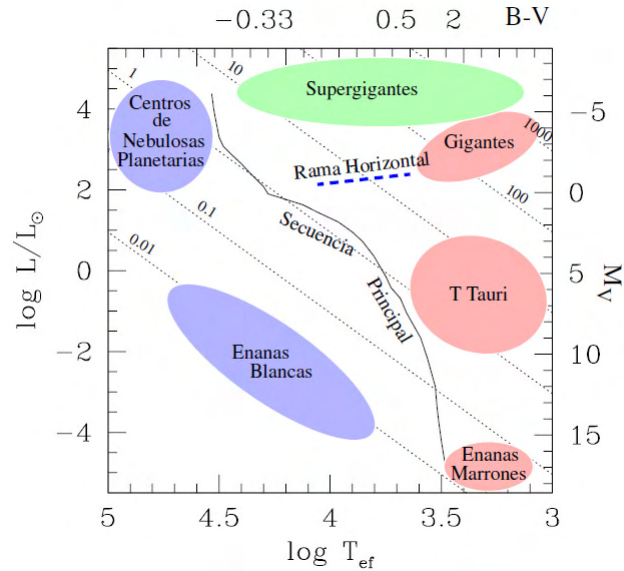


Figura 2.1: Diagrama HR teórico

2.4.3 Diagrama color-color

Es un diagrama que nos muestra la relación entre los índices de color (U-B) y (B-V) para la secuencia principal. Si las estrellas actualmente se comportan como un cuerpo negro, el diagrama color-color podría ser una línea recta discontinua, sin embargo las estrellas no son en verdad cuerpos negros, debido a que la luz es absorbida por su viaje a través de la atmósfera estelar y la cantidad de luz absorbida depende en ambos de la longitud de onda de la luz y la temperatura de la estrella.

2.4.4 Diagrama color-magnitud

El diagrama color-magnitud, nos muestra la relación entre la magnitud y el índice de color. Este diagrama es importante para calibrar distancias astronómicas y comprender mejor la evolución estelar.

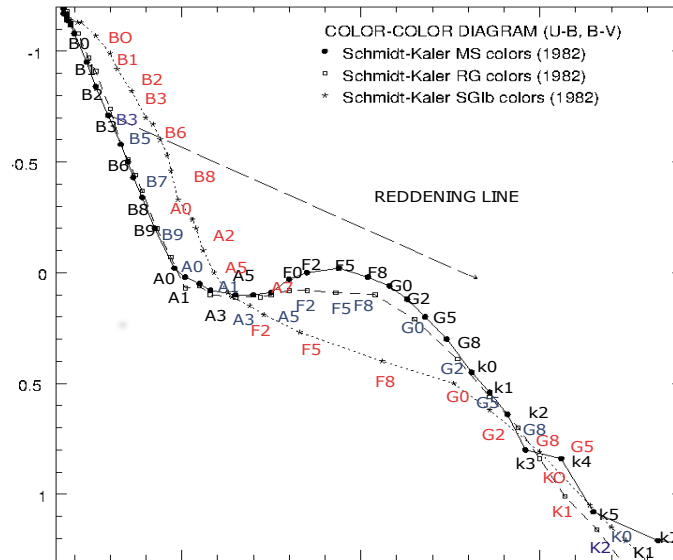


Figura 2.2: Diagrama color—color

2.5 Calibración del sistema estandar y determinación de parametros físicos

2.5.1 Extinción atmosferica

Para determinar el coeficiente de extinción atmosferica, se calcula la masa de aire del lugar de observación. Esto se debe a que la atmosfera terrestre esta compuesta por una serie de capas de diferente densidad. Esto hace que un rayo de luz al penetrar en la atmosfera no solo cambie de dirección sino que va cambiando conforme cambia de capa, debido a que presenta diferente indice de refracción. Sin embargo la trayectoria a seguir depende del ángulo del entrada, es por ello que la refracción es menor en la dirección al Zenit, el angulo de entrada es de 0° y por tanto la desviación del rayo será nula, aunque la atmosfera absorberá parte de la luz. En otro ambito se debe a que el indice de refracción depende de la longitud de onda de la luz monocromática incidente, lo cual significa que la luz no se refracta igual siendo mayor la refracción conforme la longitud de onda disminuye, debido a este proceso se observa el

enrojecimiento de los diferentes objetos estelares, cuando se hallan a diferente altura. Para calcular la masa de aire (x)

$$x = \sec z \quad (2.1)$$

$$\sec z = \frac{1}{\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H} \quad (2.2)$$

Donde ϕ corresponde a la latitud geográfica del lugar de observación
 δ la declinación del objeto estelar.

H angulo horario.

z distancia zenital

x masa de aire

Por lo tanto se concluye que el coeficiente de extinción depende de la clase de partículas suspendidas en la atmósfera, para que las moléculas que tienen un tamaño comparable a la longitud de la luz varia en función de λ^{-4} . El coeficiente de extinción a nivel del mar es aproximadamente 0,24 magnitudes por masa de aire. La extinción aumenta su magnitud en cortas longitudes de onda o cuando el objeto celeste se pone o sale por el horizonte.

En un ancho de banda, por ejemplo en el Visible, la extinción Atmosferica A_v relaciona la magnitud aparente en el ancho de banda del visible M_v y la magnitud aparente en la ausencia de polvo $M_{v,0}$, de la siguiente manera.

$$A_v = M_v - M_{v,0} \quad (2.3)$$

Para un determinado color, existe la relación entre el enrojecimiento o exceso de color $E(B - V)$, respecto a la extinción atmosferica A_v , mediante el siguiente comportamiento.

$$E(B - V) = A_B - A_v \quad (2.4)$$

Para cada diagrama, se determinan los diferentes enrojecimientos.

$$A_v = 3,1E(B - V) \quad (2.5)$$

$$E(V - I) = 1,25E(B - V) \quad (2.6)$$

$$E(R - I) = 0,69E(B - V) \quad (2.7)$$

$$E(B - R) = 1,56E(B - V) \quad (2.8)$$

2.5.2 Excesos Fotometricos

Este fenómeno se presenta principalmente de dos formas diferentes:

Debido a enrojecimiento interestelar

El **enrojecimiento interestelar o exceso en (B-V)** es debido al medio interestelar (polvo) que se encuentra entre nosotros y el objeto en estudio. Se denota como $E(B - V)$. El color de banda ancha es afectado porque la extinción es mas alta en las longitudes de onda corta que en las longitudes de onda larga, cuando la longitud de onda tiende a infinito el polvo no absorbe nada y mide el cero de absorción, lo anterior se evidencia en la fig.

Si el color intrínseco de una estrella, es conocido de el tipo espectral, entonces este se puede comparar con la medida del color y por lo tanto así determinar el enrojecimiento. Las mejores estrellas para este tipo de trabajo son las de tipo espectral **O** y **B**, debido a su alta luminosidad, además son intrínsecamente azules y por lo tanto son susceptibles al enrojecimiento.

La siguiente ecuación nos permite encontrar el enrojecimiento, calculado mediante la diferencia del color observado y el color intrínseco respectivamente.

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 \quad (2.9)$$

$$E(b - y) = (b - y) - (b - y)_0 \quad (2.10)$$

$$E(B - V) \circ E(b - y) \implies E(U - B), E(R - I), E(m), E(c_1) \implies \quad (2.11)$$

$$(U - B)_0, (B - V)_0, (R - I)_0, v_0, (b - y)_0, m_0, C_0$$

Al medir este tipo de estrellas, se encontro que en el diagrama color-color, el enrojecimiento se debia ajustar a una linea con una inclinación, por lo tanto el vector enrojecimiento, toma un valor determinado para su inclinación, como se observa en la siguiente relación.

$$\frac{E(U - B)}{E(B - V)} = 0.72 \quad (2.12)$$

Debido a las características de la estrella:

El parametro $\delta(U - B)$ esta definido como la diferencia entre el observado y la relacion con las Hyades, donde ZAMS en las respectivas ecuaciones corresponde a *Zero Age Main Sequence*.

- Composición química (gravedad)

$$\delta(U - B) = (U - B)_{hyades} - (U - B)_{star} \quad (2.13)$$

- Composición química

$$\delta_{m_1} = (m_1)_{hyades} - (m_1)_{star} \quad (2.14)$$

- Gravedad, clasificación, edad, magnitud absoluta, distancia

$$\delta_{C_1} = (C_1)_{star} - (C_1)_{ZAMS} \quad (2.15)$$

- Magnitud absoluta, edad, distancia

$$\delta_{M_v} = (M_v)_{ZAMS} - (M_v)_{star} \quad (2.16)$$

2.5.3 Índice de Metalicidad $[F_e/H]$

La metalicidad es el concepto astrofísico que se utiliza para describir la abundancia relativa de elementos más pesados que el helio en una estrella. Frecuentemente la metalicidad se expresa utilizando como patrón la abundancia de elementos metálicos del Sol. Esta medida no es de carácter absoluto sino relativa. Las líneas de absorción que se comparan son las del hidrógeno con las del hierro. Por lo tanto el índice de metalicidad el factor estudiado para la estrella con respecto al sol.

$$[F_e/H] = \log \left(\frac{F_e}{H} \right)_{star} - \log \left(\frac{F_e}{H} \right)_{sol} \quad (2.17)$$

- cúmulos globulares $\langle [F_e/H] \rangle \sim -1,6$
- cúmulos abiertos galacticos $\langle [F_e/H] \rangle \sim 0,0$

Para las diferentes calibraciones si se desea convertir el índice de metalicidad $[F_e/H]$ a la metalicidad Z , se utiliza la Calibración de Metalicidad y magnitud absoluta para la fotometria, la cual nos permite plantear las siguientes relaciones.

$$\delta(U - B) = (U - B)_{Hyades} - (U - B)_{star} \quad (2.18)$$

$$\delta(U - B) = \delta_{0,6} \rightarrow [F_e/H] \rightarrow Z \quad (2.19)$$

$$[F_e/H] = +0.13 - 4,84 \cdot \delta_{0,6} - 7,93 \cdot \delta_{0,6}^2 \quad (2.20)$$

Luego de determinado el índice de metalicidad, se calcula la metalicidad, mediante la siguiente relación.

$$Z = Z_{\odot} \cdot 10^{[F_e/H]} \quad (2.21)$$

Donde Z_{\odot} corresponde a la metalicidad solar que toma un valor de 0.0152.

2.6 Instrumentación

2.6.1 Telescopio

Las observaciones fueron realizadas por el Doctor William Schuster, en el Observatorio de San Pedro Mártir, ubicado en Baja California, México. Se utilizó un telescopio de 1,5 metros de apertura ubicado a 2790 metros de altitud sobre el nivel del mar y con coordenadas geográficas de $31^{\circ}2'43''$ de latitud norte y $115^{\circ}28'00''$ de longitud oeste. Este telescopio tiene un diseño Ritchey-Chrétien y tiene una relación focal (distancia focal entre el diámetro del espejo primario) de $f/13.5$. Los telescopios Ritchey-Chrétien son un tipo de reflectores Cassegrain que usan espejos secundarios hiperbólicos convexos en lugar de los espejos esféricos o parabólicos que se encuentran en la mayoría de diseños Cassegrain. Un telescopio Cassegrain tiene el espejo primario de forma parabólica cóncava, montado en la parte inferior del tubo del telescopio. Este espejo posee un orificio perforado en el centro del mismo por el cual pasa la luz reflejada por el espejo secundario, ubicado en la parte superior del tubo del telescopio. La ventaja del diseño de los telescopios es que permiten una longitud focal mucho más grande manteniendo el tamaño del tubo del telescopio más corto de lo que sería en un telescopio reflector de otro tipo.

2.6.2 Cámara CCD

Para obtener la información de cada una de las imágenes, se utilizó un detector CCD de 2000×2000 píxeles marca THOMSON, instalado en el plano focal del telescopio, donde se forma la imagen del objeto. El dispositivo CCD se abrevia de Charged-Coupled-Device (dispositivo de carga acoplada). Se trata de un chip con una matriz constituida a base de pequeños fotodiodos, lo cual permite realizar un conteo de fotones, con la ventaja de tener una imagen del objeto estelar en estudio, en este caso un cúmulo estelar galáctico, no obstante la precisión de las medidas es ligeramente inferior a la de los fotómetros. Los detectores CCD son normalmente sensitivos a una amplia variedad de longitudes de onda, desde el azul hasta el infrarrojo. El tamaño de los sensores son considerablemente pequeños, por lo tanto tiene un

campo pequeño de visión. Este dispositivo tiene un arreglo de dos dimensiones de pequeños pixeles unidos mediante un semiconductor, usualmente silicio. En el caso de estudio el detector utilizado, cada pixel mide aproximadamente $19\mu \times 19\mu$, cuando los fotones inciden en el arreglo, cada pixel responde al impacto de un fotón produciendo electrones. Así la carga acumulada en cada pixel es proporcional a la cantidad de radiación incidente. Después de una exposición los paquetes de carga de los pixeles son trasladados fuera del arreglo y la carga acumulada en cada pixel es medida columna por columna.

2.6.3 Filtros

Las observaciones se realizaron a través de dos filtros, el rojo (R) y el visible (V)....

Los diferentes modelos de sensores de CCD tienen diferentes espectros. Cada sensor CCD tiene una diferente respuesta espectral en la región de la luz de el objeto celeste en la banda de paso del filtro. Si al usar cada imagen la estrella sin filtro podrian tener diferentes magnitudes.

Pero no piense que usando filtros es una mala cosa. De hecho, este es uno de las fortalezas de CCDs. Cuando se utiliza un filtro, se iguala la banda de paso de variación CCDs.

Los filtros más estandares mas frecuentes para trabajar fotometria son:

- **Johnson U:** Este esta en el rango cercano al ultravioleta. Muy pocos (consumer level) CCDs son sensibles en este rango.
- **Johnson B:** Este es el rango azul. variables cataclismicas (cataclysmic CVs) tiende a brillar en B, especialmente cuando en (outburst).
- **Johnson V:** Este es cerrado al ojo humano por lo que V se encuentra en el campo visual. Este se encuentra aproximadamente centrado en el verde.
- **Cousins R:** (R_c) Este es rojo. Miras son brillantes en R_c .
- **Cousins I:** (I_c) Este es muy cercano al infrarojo. El ojo humano aun no puede ver esta

porción del espectro por lo que un filtro I_c pueden lucir opacos cuando (help up) to the luz.

Otros filtros: los filtros Sloan Este conjunto de filtros se ha desarrollado específicamente para Sloan Digital Sky Survey (SDSS). el conjunto de filtros Sloan , cubren un similar rango en el conjunto de Johnson Cousins, pero con menos longitud de onda (superposición) entre los filtros de tal manera que la muestra de las diferentes regiones del espectro sea independiente el uno del otro.

Observaciones sin filtros Las observaciones CCD sin filtros no son tan útiles astrofísicamente como las observaciones con filtros porque ellas proporcionan poca información acerca de las propiedades espectrales de la luz que se está observando, justo una medida de la entrada del amplio flujo del espectro convolucionada con la respuesta espectral de tu sensor CCD. Lo peor, de las observaciones CCD sin filtro pueden ser engañosas si el CCD es sensible a la luz fuera del paso de banda de visión. Por ejemplo sin las observaciones CCD sin filtros de una estrella roja de mag 10 parecería como una de mag 3 porque la fuga de luz roja en el CCD.

Para poder efectuar fotometría que después sea utilizable desde el punto de vista científico, hay que seleccionar la luz que nos llega de la estrella, y para ello son necesarios los filtros fotométricos. Por razones físicas de diversa índole, los datos fotométricos son muy poco útiles si no se utilizan filtros, y la fotometría de alta precisión sólo es posible con filtros. Sin embargo hay muchos aficionados que se resisten a emplearlos porque se pierden magnitudes, lo cual es equivalente a una pérdida de "sensibilidad" de la cámara. Esto se ve de manera inmediata al considerar que un filtro no deja pasar toda la luz sino sólo la de una banda determinada más o menos estrecha y el resto la absorbe, evidentemente las estrellas aparecen más "oscuras". Sin embargo esta pérdida de sensibilidad se ve compensada con creces por los resultados obtenidos. Además ya comentamos en otro sitio que el número de estrellas en el cielo es suficientemente grande como para que una pérdida de magnitudes no suponga ningún inconveniente. Siempre hay miles de objetos por estudiar...

rueda de filtros Es estrictamente necesario tomar imágenes en una banda determinada, ape-

sar de que esto reduzca sustancialmente la cantidad de luz recibida. Esto es así porque es el único modo de conseguir que las observaciones realizadas por distintos observadores se pueden comparar. La rueda de filtros que usamos es el modelo, también SBIG. Consta de tres filtros, con las siguientes características:

- **Filtro R:** Banda de paso de 612 a 670 nm
- **Filtro V:** Banda de paso de 488 a 574 nm
- **Filtro R:** Banda de paso de 392 a 508 nm

2.6.4 Cúmulos de estudio

1. NGC6819

Es considerado un cúmulo abierto galáctico, en particular uno de los más viejos de nuestra galaxia. Este tipo de cúmulos son excelentes para trazar una estructura cinemática y química de el disco galáctico. Los sistemas binarios y la presencia de las Blue Stragglers ocurren frecuentemente en los cúmulos abiertos, las cuales se observan bien pronunciadas en los diagramas color-magnitud en el turno off de la secuencia principal. Debido a esto se considera que este cúmulo en estudio presenta un conjunto de Blue Stragglers, y es por esto que para determinar los parámetros físicos se realice el estudio de una manera diferente.

2. NGC 957

Es un cúmulo abierto, reconocido como una herramienta importante para el estudio del disco galáctico. Según la fuente Marcos(2009) este cúmulo pertenece a la familia Cassiopeia-Perseus, así que lo que estamos viendo atrás podría ser uno de sus vecinos cercanos, pero también puede ser parte del brazo espiral de la galaxia.

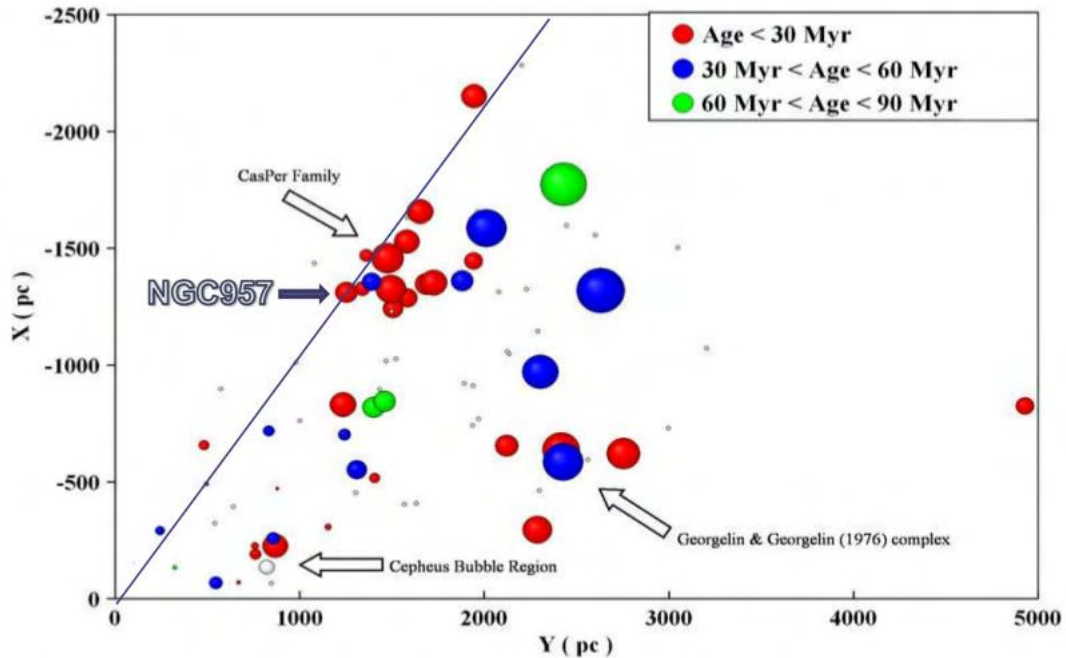


Figura 2.3: Distribucion espacial ubicado hacia el brazo de Perseus

2.6.5 Software utilizado

SuperMongo

El software aplicado en el proyecto de investigación corresponde a SuperMongo, se considera un programa estándar de gráficos astronómicos, el cual es aplicado para determinar los diagramas correspondientes a CC y CM.

Isocronas PADOVA

Las propiedades de las estrellas cambian en el tiempo. Estos cambios se pueden ver reflejados en el diagrama HR como un cambio en el punto del diagrama donde esta la estrella. Para estudiar la evolución de las propiedades estelares dependiendo de la masa, para estrellas individuales o grupos de estrellas, los Astrofísicos se valen de complejos modelos computacionales que calculan la evolución de la estrella en el tiempo y que producen como salida las

propiedades físicas y observacionales de las estrellas en cada momento. Al conjunto de los valores de las propiedades observacionales de estrellas de un amplio rango de masas en un tiempo constante se lo llama una **Isocrona**. Para la ejecución del proyecto de investigación se utilizaron las isocronas de PADOVA, con modelos teóricos del Instituto de Padova, Italia, de Marigo et al. (2008) y Girardi et al.(2010)

Capítulo 3

Resultados experimentales

Durante la ejecución del proyecto de investigación, en primera instancia se analizan los datos tomados en el Observatorio de San Pedro Martir, con el telescopio de 2 m a los objetos en estudio. En este caso se analiza los datos para cada uno de los diferentes filtros, en SPM la tecnica utilizada son los CCD (Charge Coupled Device), el ancho de banda esta entre los 850-1600 Å.

A partir del archivo de datos se realiza un programa con el fin de obtener los diagramas correspondientes a COLOR-COLOR, y MAGNITUD-COLOR. El macro utilizado se corre bajo el software SUPER MONGO.

Para cada cúmulo estelar galactico en estudio, se ajusto el mismo macro, modificando las condiciones iniciales, de acuerdo al caso, con el fin de determinar los siguientes parametros:

- Enrojecimiento Interestelar $\implies \mathbf{E(B-V)}$
- Metalicidad $\implies [Fe/H] \rightarrow Z$
- Distancia $\implies V-M_v \rightarrow d$
- Edad $\implies TO + \text{isocronos} \rightarrow A$

Para cada cúmulo en estudio se toman colores empíricos y modelos teóricos para los ajustes, es decir para graficar cada diagrama se tiene en cuenta.

- **DIAGRAMA CC:**

- Se ajustó al cúmulo de las Hyades, que se encuentra en la constelación de Tauro, es el cúmulo más cercano a la Tierra y tiene una alta metalicidad ($[Fe/H] \sim$

+0.13). Se utiliza para definir el valor intrínseco de color. Son datos observados por Sandage (1969).

- Para las estrellas gigantes se ajusta a los colores intrínsecos de Schmidt -Kaler (1982)

- **DIAGRAMAS CM:**

- Se utilizaron isocronos de PADOVA, con modelos teóricos del Instituto de Padova, Italia, de Marigo et al.(2008) y Girardi et al. (2010)

3.1 Resultados NGC 6819



Figura 3.1: Imagen NGC6819 tomada en SPM

Para determinar los parametros físicos correspondientes se ajusto cada diagrama utilizando metalicidad solar y la metalicidad de las Hyades, debido a que en este cúmulo se cree que existe un grupo de estrellas BLUE STRAGGLERS, lo que nos permite decir que el rango de

metalicidad que este tiene es por evolución química. Debido a esto el estudio para determinar los parametros físicos se realiza teniendo en cuenta ajustar los datos experimentales a dos tipos de metalicidades, con el fin de que el ajuste sea el más adecuado. Para el caso del diagrama COLOR-COLOR se comparó el cúmulo utilizando la metalicidad de las Hyades $[Fe/H] \sim +0.13$,

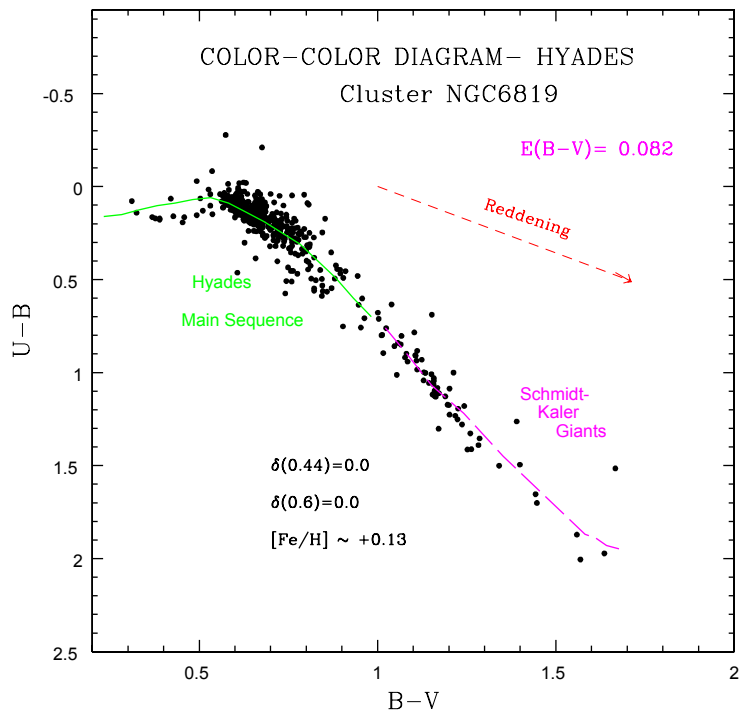


Figura 3.2: Diagrama CC NGC6819 HYADES

Luego se realizo el mismo diagrama pero utilizando la metalicidad solar $[Fe/H] = 0$. Para determinar la edad del cúmulo **NGC6819**, se realiza los correspondientes diagramas CM, para este caso utilizando los dos tipos de metalicidades.

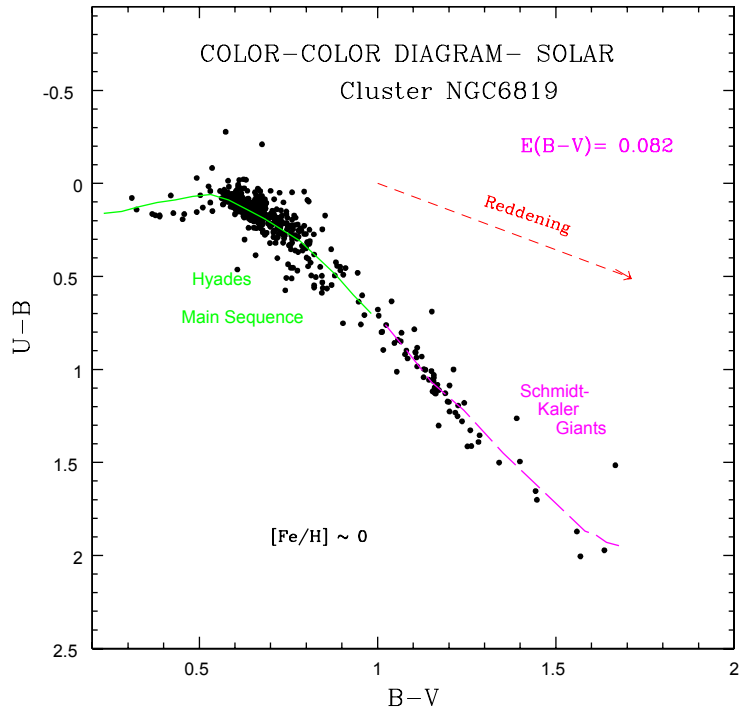


Figura 3.3: Diagrama CC NGC6819 SOLAR

3.2 Resultados NGC957

Para determinar los parámetros físicos para este cúmulo, se realiza el mismo procedimiento que se utilizó anteriormente, para obtener los diagramas se utiliza el mismo macro bajo el software de Supermongo, cambiando las condiciones iniciales correspondientes a metalicidad. Para el caso de **NGC957**, existe la hipótesis que existe una parte del cúmulo que no pertenece a este, sino que pertenece a un vecino que se encuentra detrás, de acuerdo a esto para el diagrama CC, la parte superior izquierda se ajusta a los datos teóricos de las HYADES y para la parte inferior del cúmulo se ajusta a los datos teóricos de Schmidt- Kaler Giants. Luego de determinar con el anterior diagrama el enrojecimiento interestelar $E(B-V) = 0.70$, se utiliza el valor encontrado en el diagrama CM, con el fin de determinar la edad del cúmulo estelar **NGC957**.

De acuerdo a lo anterior se obtuvieron los siguientes resultados.

RESULTADOS FINALES			
CUMULO PRINCIPAL	NGC957 (Nuestros)	NGC957 (WEBDA)	NGC957 (BUKOWIECKI 2009)
E(B-V)	0.72 ± 0.02	0.842	0.842
[Fe/H]	-0.46	~	~
Z	0.00527	~	~
$V - M_V$	10.87 ± 0.20	11.29	~
d	1493 pc	1811 pc	1815 pc
log edad	7.85 ± 0.04	7.042	7.042
Edad	7.1×10^7 yr	1.1×10^7 yr	1.1×10^7 yr

Tabla 3.1: Resultados experimentales NGC 957

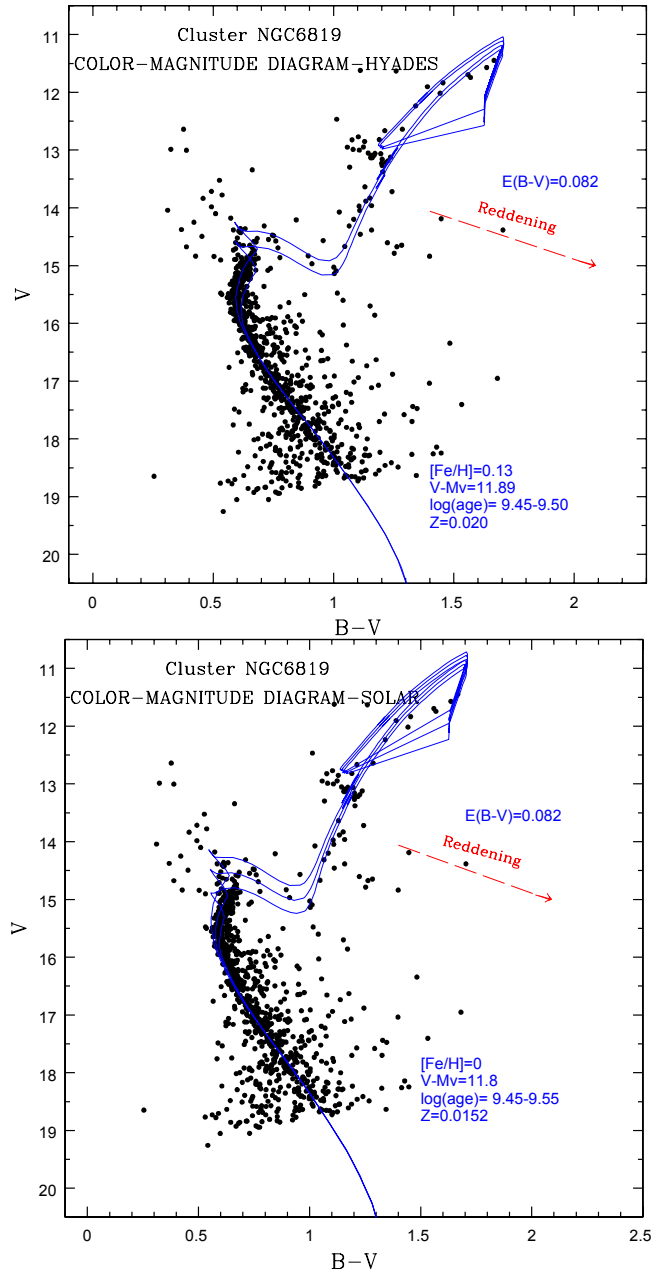


Figura 3.4: Diagrama CM NGC6819

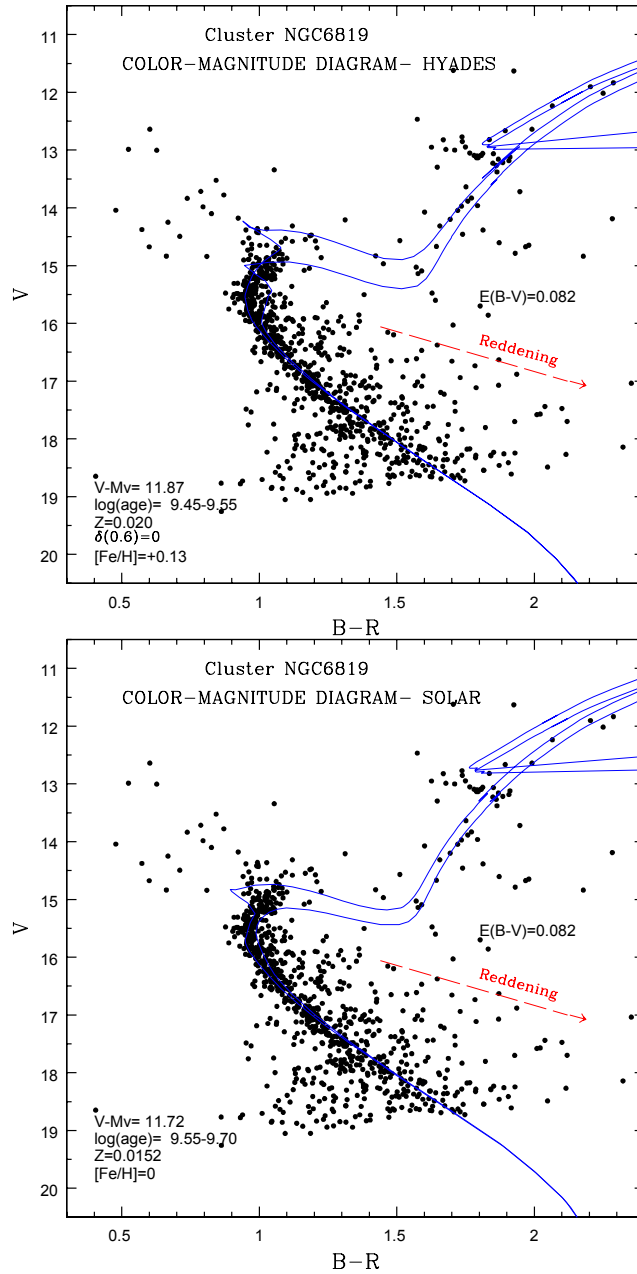


Figura 3.5: Diagrama CM NGC6819

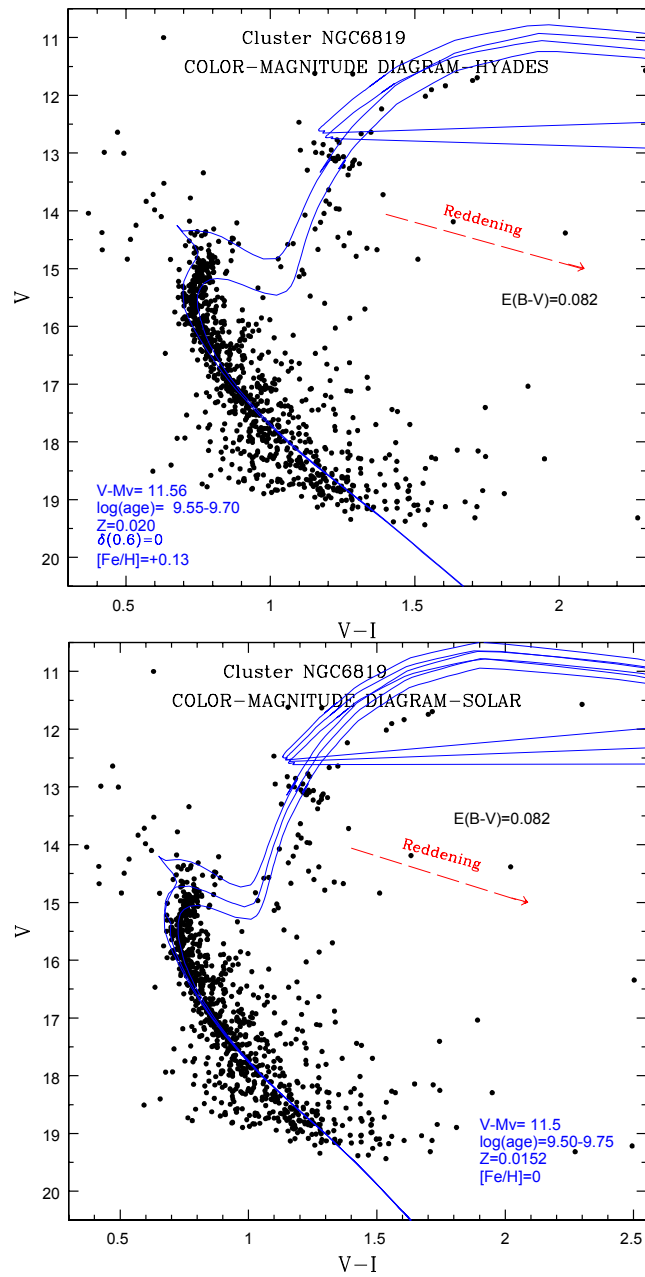


Figura 3.6: Diagrama CM NGC6819



Figura 3.7: Imagen NGC957 tomada en SPM

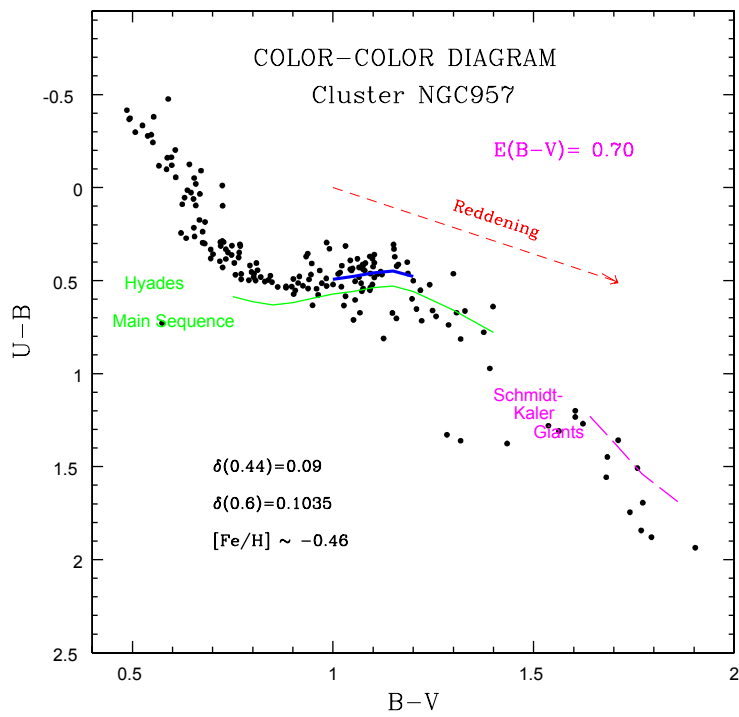


Figura 3.8: Diagrama CC NGC 957

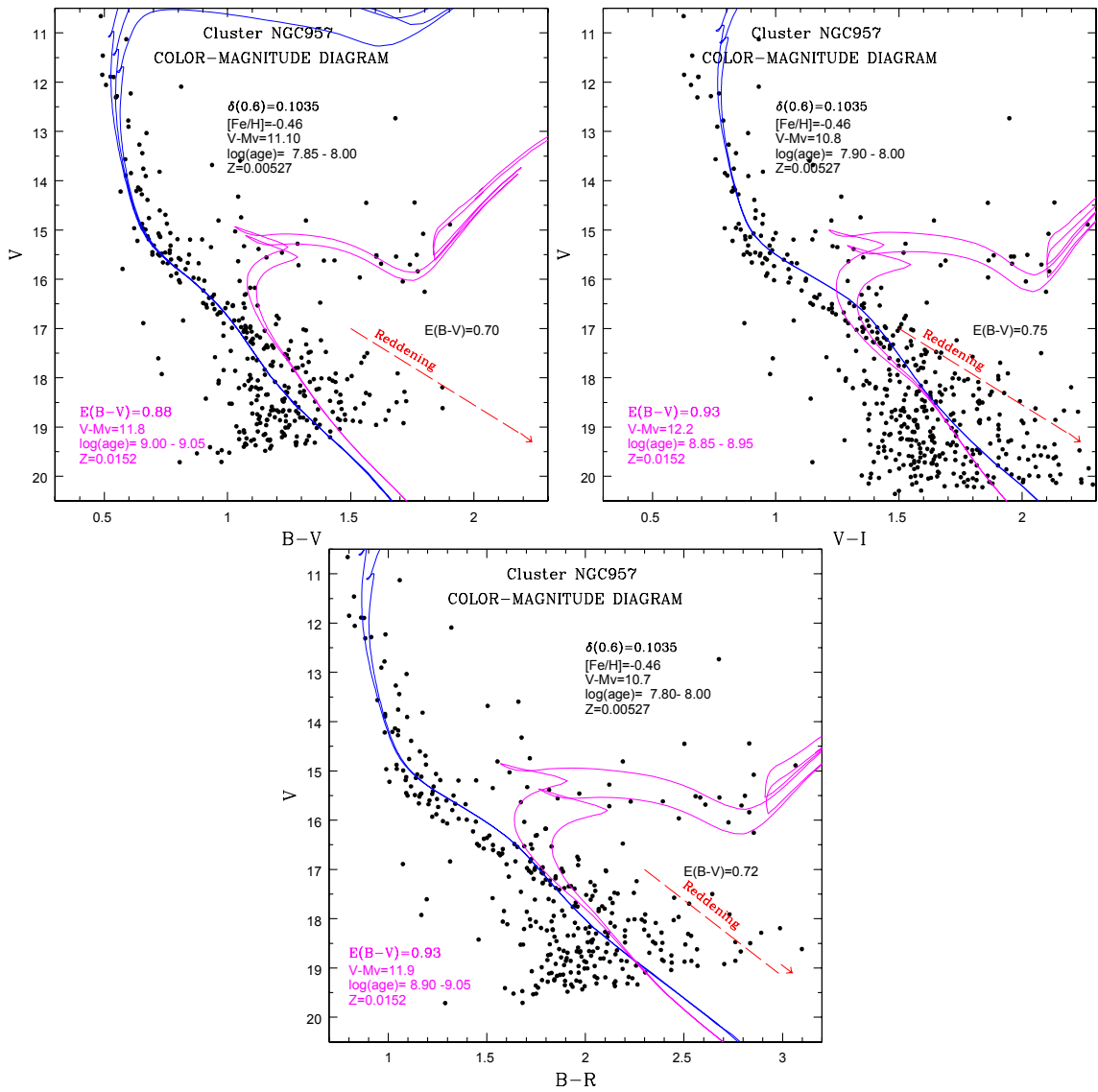


Figura 3.9: Diagrama CM NGC957

RESULTADOS FINALES			
	NGC6819 (Nuestros)	NGC6819 (WEBDA)	NGC6819 (SOUNG-CHUL 2013)
E(B-V)	0.082	~	~
[Fe/H]	[0-0.13]	+0.07	+0.09
Z	[0.0152-0.020]	~	~
$V - M_V$	11.72 ± 0.10	12.6	11.93 ± 0.10
d	2208 pc	2360 pc	~
log edad	9.50 ± 0.04	9.174	~
Edad	$3.2 \times 10^7 yr$	1.5×10^7	2.6 Gyr

Tabla 3.2: Resultados experimentales NGC 6819

Capítulo 4

Listas

- **Diagrama color - color (CC)** Es un diagrama que nos muestra la relación entre los índices de color ($U - B$) y ($B - V$) para la secuencia principal.
- **Diagrama color - magnitud (CM)** Este diagrama nos muestra la relación entre la magnitud y el índice de color.
- **San Pedro Martir (SPM)** Observatorio Astronomico de la Universidad Autonoma de México, baja california, sede Ensenada.
- **Turn Off (TO)** Es el punto en donde las estrellas de la Secuencia principal comienzan a doblarse hacia la derecha de las estrellas sub-gigantes.
- **Diagrama HR** Este diagrama muestra la magnitud aparente V de las estrellas como función de su índice de color $B - V$. Por tanto $B - V$ estará en el eje de abcisas y V en el eje de ordenadas.
- **Fotometría UBVRI** se considera una técnica de análisis del espectro electromagnético en la que se toman bandas anchas de los colores desde los 3000 \AA a 9000 \AA
- **CCD Charge Coupled Device.** Es un circuito integrado que contiene un número determinado de condensadores enlazados o acoplados.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

Con la presente investigación se obtuvieron resultados favorables con respecto a los diferentes parámetros físicos, tales como metalicidad, módulo distancia, y la edad para los cúmulos *NGC6819* y *NGC957*, los cuales contribuirán en el análisis de los 40 cúmulos destinados para generar la base de datos.

Para el cúmulo *NGC6819*, de acuerdo a los resultados obtenidos, se comprueba experimentalmente que pertenece a un cúmulo abierto viejo, debido al rango de edad determinado en este proyecto, además se estudió la posibilidad de la existencia de un conjunto de estrellas que no evolucionaron a través de la secuencia principal, conocidas en la literatura como grupo de estrellas BLUE STRAGGLERS.

Para el cúmulo *NGC957*, analizando los respectivos diagramas color-color y magnitud-color, se estudia la hipótesis de la existencia de un cúmulo que no pertenece a esta familia, debido a que durante los ajustes correspondientes se utilizaron dos isocronos con diferentes enrojecimientos.

Apéndice A

Código del programa

```
plot # Diagrama COLOR-COLOR y COLOR-MAGNITUD
  erase
  expand 1.0
  angle 0
  ltype 0
  ctype default
#
limits 0.4 2.9 20.50 10.50 # Limites en el intervalo de datos
ptype 10 3
data NGC_957_2452964.dat # abrir el archivo de datos
read U 4 # Lee cada dato y lo coloca en una matriz
read B 6
read V 8
read R 10
read I 12
set BV=B-V # Realiza las operaciones para cada columna
set UB=U-B #guarda su resultado
set VI=V-I
set BR=B-R
set VR=V-R
set RI=R-I
ticksize 0.1 0.5 0.50 1.0 # Opciones para la grafica
lweight 3
box
lweight 2
points VI V
expand 1.5
xlabel V-I
ylabel V
expand 1.25
relocate 0.70 11.70
putlabel 6 COLOR-MAGNITUDE DIAGRAM
```

```
relocate 0.70 11.00
expand 1.25
putlabel 6 Cluster NGC957
expand 1.0
#
Section for reddening vectors. # Determinar el vector de
#                               enrojamiento
ltype 3
ctype red
set b = 17.00, 19.108, 2.108 # Punto inicial y Punto final
set a = 1.75, 2.6, 0.85      #para cada vector
connect a b
ltype 0
relocate 1.9 17.10
angle -34
putlabel 6 Reddening
relocate 2.65 19.39
angle 55
expand 2.0
label \gN
angle 0
ctype default
# Section for isochrones. #Nos permite relacionar los datos
#                               # teóricos con los experimentales.
data isoccomplz00659.dat #Se abre el archivo con su
read v 10                respectiva metalicidad
read b 9
read u 8
read r 11
read i 12
set bv=b-v+0.68
set ri=r-i
set ub=u-b
set vi=v-i+0.85
set br=b-r
set vr=v-r
set v=v+2.108+11.2
read age 1
ltype 0
lweight 2
```

```
relocate 2.25 15.2
putlabel 6 V-Mv=11.20
relocate 2.25 15.6
putlabel 6 log(age)=8.45-8.50
relocate 2.35 15.95
putlabel 6 or 7.50-7.60
relocate 2.25 14.8
putlabel 6 Z=0.00659
ctype blue
# connect vi v if (age == 6.60) #isochrones para un intervalo de edad
# connect vi v if (age == 6.65) y una metalicidad.
# connect vi v if (age == 6.70)
# connect vi v if (age == 6.75)
# connect vi v if (age == 6.80)
# connect vi v if (age == 6.85)
# connect vi v if (age == 6.90)
# connect vi v if (age == 6.95)
# connect vi v if (age == 7.00)
# connect vi v if (age == 7.05)
# connect vi v if (age == 7.10)
# connect vi v if (age == 7.15)
# connect vi v if (age == 7.20)
# connect vi v if (age == 7.25)
# connect vi v if (age == 7.30)
# connect vi v if (age == 7.35)
# connect vi v if (age == 7.40)
# connect vi v if (age == 7.45)
connect vi v if (age == 7.50)
# connect vi v if (age == 7.55)
connect vi v if (age == 7.60)
# connect vi v if (age == 7.65)
# connect vi v if (age == 7.70)
# connect vi v if (age == 7.75)
# connect vi v if (age == 7.80)
# connect vi v if (age == 7.85)
# connect vi v if (age == 7.90)
# connect vi v if (age == 7.95)
# connect vi v if (age == 8.00)
# connect vi v if (age == 8.05)
# connect vi v if (age == 8.10)
```



```
# connect vi v if (age == 8.15)
# connect vi v if (age == 8.20)
# connect vi v if (age == 8.25)
# connect vi v if (age == 8.30)
# connect vi v if (age == 8.35)
# connect vi v if (age == 8.40)
  connect vi v if (age == 8.45)
  connect vi v if (age == 8.50)
# connect vi v if (age == 8.55)
# connect vi v if (age == 8.60)
# connect vi v if (age == 8.65)
# connect vi v if (age == 8.70)
# connect vi v if (age == 8.75)
# connect vi v if (age == 8.80)
# connect vi v if (age == 8.85)
# connect vi v if (age == 8.90)
# connect vi v if (age == 8.95)
# connect vi v if (age == 9.00)
# connect vi v if (age == 9.05)
# connect vi v if (age == 9.10)
# connect vi v if (age == 9.15)
# connect vi v if (age == 9.20)
# connect vi v if (age == 9.25)
# connect vi v if (age == 9.30)
# connect vi v if (age == 9.35)
# connect vi v if (age == 9.40)
# connect vi v if (age == 9.45)
# connect vi v if (age == 9.50)
# connect vi v if (age == 9.55)
# connect vi v if (age == 9.60)
# connect vi v if (age == 9.65)
# connect vi v if (age == 9.70)
# connect vi v if (age == 9.75)
# connect vi v if (age == 9.80)
# connect vi v if (age == 9.85)
# connect vi v if (age == 9.90)
# connect vi v if (age == 9.95)
# connect vi v if (age == 10.00)
# connect vi v if (age == 10.05)
# connect vi v if (age == 10.10)
```

```
# connect vi v if (age == 10.15)
# connect vi v if (age == 10.20)
# connect vi v if (age == 10.25)
#
#
  ctype magenta
  expand 1.1
  relocate 0.6 18.6      #Proceso para determinar el enrojecimiento,
  putlabel 6 E(B-V)=0.88  modulo distancia y edad
  expand 1.0
  relocate 0.6 19.1
  putlabel 6 V-Mv=11.9
  relocate 0.6 19.5
  putlabel 6 log(age)= 9.0
#
  set v=v+0.62+0.70
  set vi=vi+0.25
  ctype magenta
# connect vi v if (age == 6.60)
# connect vi v if (age == 6.65)
# connect vi v if (age == 6.70)
# connect vi v if (age == 6.75)
# connect vi v if (age == 6.80)
# connect vi v if (age == 6.85)
# connect vi v if (age == 6.90)
# connect vi v if (age == 6.95)
# connect vi v if (age == 7.00)
# connect vi v if (age == 7.05)
# connect vi v if (age == 7.10)
# connect vi v if (age == 7.15)
# connect vi v if (age == 7.20)
# connect vi v if (age == 7.25)
# connect vi v if (age == 7.30)
# connect vi v if (age == 7.35)
# connect vi v if (age == 7.40)
# connect vi v if (age == 7.45)
# connect vi v if (age == 7.50)
# connect vi v if (age == 7.55)
# connect vi v if (age == 7.60)
# connect vi v if (age == 7.65)
```

```
# connect vi v if (age == 7.70)
# connect vi v if (age == 7.75)
# connect vi v if (age == 7.80)
# connect vi v if (age == 7.85)
# connect vi v if (age == 7.90)
# connect vi v if (age == 7.95)
# connect vi v if (age == 8.00)
# connect vi v if (age == 8.05)
# connect vi v if (age == 8.10)
# connect vi v if (age == 8.15)
# connect vi v if (age == 8.20)
# connect vi v if (age == 8.25)
# connect vi v if (age == 8.30)
# connect vi v if (age == 8.35)
# connect vi v if (age == 8.40)
# connect vi v if (age == 8.45)
# connect vi v if (age == 8.50)
# connect vi v if (age == 8.55)
# connect vi v if (age == 8.60)
# connect vi v if (age == 8.65)
# connect vi v if (age == 8.70)
# connect vi v if (age == 8.75)
# connect vi v if (age == 8.80)
# connect vi v if (age == 8.85)
# connect vi v if (age == 8.90)
# connect vi v if (age == 8.95)
  connect vi v if (age == 9.00)
# connect vi v if (age == 9.05)
# connect vi v if (age == 9.10)
# connect vi v if (age == 9.15)
# connect vi v if (age == 9.20)
# connect vi v if (age == 9.25)
# connect vi v if (age == 9.30)
# connect vi v if (age == 9.35)
# connect vi v if (age == 9.40)
# connect vi v if (age == 9.45)
# connect vi v if (age == 9.50)
# connect vi v if (age == 9.55)
# connect vi v if (age == 9.60)
# connect vi v if (age == 9.65)
```

```
# connect vi v if (age == 9.70)
# connect vi v if (age == 9.75)
# connect vi v if (age == 9.80)
# connect vi v if (age == 9.85)
# connect vi v if (age == 9.90)
# connect vi v if (age == 9.95)
# connect vi v if (age == 10.00)
# connect vi v if (age == 10.05)
# connect vi v if (age == 10.10)
# connect vi v if (age == 10.15)
# connect vi v if (age == 10.20)
# connect vi v if (age == 10.25)
#
ltype 0
```

References

- [1] Manual instrucciones. Serie CGE Pro, p.6
- [2] Quijano V, Alberto, Diseño de un Método experimental para Medir Temperaturas Estelares Mediante la cámara CCD y espectrometría ISBN: 958-9479-68-5, Impreso en Colombia, Editorial Universitaria. Pasto, Nariño.
- [3] Galadi Enriquez, David e Ignasi Ribas Canudas, Manual práctico de astronomía con CCD, Barcelona, Omega, 1998 ISBN 8428211698.
- [4] Diagrama HERTZSPRUNG - RUSSELL.
- [5] Vives, Teodoro J. Astronomía de Posición Madrid, Alhambra, 1971.
- [6] De la Fuente Marcos R. & de la Fuente Marcos C., 2009, *New Astronomy*, 14, 180
- [7] Soung- Chul Yang, WIYN open cluster study LI: Wide-Field CCD photometry of the old open cluster NGC 6819, *The astrophysical Journal*, 762
- [8] R. K. S. Yadav, Optical and near-infrared photometric study of the open cluster NGC 637 and 957.
- [9] E.D.Friel., *The old open clusters of milk way*, *New Astronomy*, 381,390
- [10] Marcel Chow, *Fotometría ubvy- β de las estrellas RR de Lira RU PSc, SS PSc y TU UMa*, UNAN-Managua, 2008
- [11] Calibración de Metalicidad y magnitud absoluta para la fotometría *UBV* Y.Karatas, W.J.Schuster