

Obtención de los diagramas de Hertzsprung-Russell (H-R) de los cúmulos: las Híades de la constelación de Tauro y el Trapecio de la constelación de Orión

Wilson Fernando Andrade Madroñero - Daniel Felipe Ruiz Basante

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
SAN JUAN DE PASTO
2019

Obtención de los diagramas de Hertzsprung-Russell (H-R) de los cúmulos: las Híades de la constelación de Tauro y el Trapecio de la constelación de Orión

Wilson Fernando Andrade Madroñero - Daniel Felipe Ruiz Basante

Trabajo de grado presentado para optar al título profesional de Físico

Director:
Alberto Quijano Vodniza
Msc. en Física

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
SAN JUAN DE PASTO
2019

Nota de responsabilidad

“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 Académico de la Universidad de Nariño.

Todos los derechos reservados.

©2019 - Wilson Fernando Andrade Madroñero - Daniel Felipe Ruiz Basante

Nota de aceptación:

Alberto Quijano Vodniza
Director

James Perengüez López
Jurado

Karla Reyes Sanchez
Jurado

San Juan de Pasto, 25 de octubre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Infinitas gracias al profesor y científico de la Universidad de Nariño, Alberto Quijano Vodniza, por dedicar el tiempo para asesorar nuestro trabajo, por su colaboración en pro de generar ciencia y por sus invaluable consejos a lo largo de nuestro proceso.

Al estudiante Faiber Rosas por haber brindado asesoría en el momento de escoger un tema adecuado, al ingeniero Jorge Mora, por brindarnos su ayuda en el tema de ruidos electrónicos.

Al Comité Curricular del departamento de física, por estar siempre pendiente de nuestro trabajo.

A nuestras familias por su paciencia y amor, por comprender que muchos momentos dedicados a este trabajo, se lo quitamos a ellos.

Con gratitud guaneñas, madres con espíritu y fuerza al viento, guerreras de corazón, de la vereda la Flor en Túquerres, la hacienda Chacapamba en Buesaco y en la ciudad de Pasto. Quienes imaginaron un hijo descubriendo secretos de las estrellas, cuantos y volcanes.

D. Ruiz

Todo para ella, quien me ha brindado sus alas para lograr llegar mas lejos y al mismo tiempo se ha convertido en mi cable a tierra. Solo ella, única como la vida misma. Gracias, infinitas gracias.

W. Andrade

RESUMEN

Empleando la técnica de fotometría, se trabajó en los cúmulos estelares de las Híades de la constelación de Tauro y el Trapecio de la constelación de Orión, para determinar ciertas características como la magnitud aparente y el índice de color de las estrellas, con esto se obtuvo el diagrama H-R para cada cúmulo. Se capturaron alrededor de 120 imágenes con filtros BESSELL azul (B) y visible (V) para cada cúmulo, se utilizó el telescopio CELESTRON ecuatorial de 14 pulgadas y la cámara CCD STL-1001E SBIG de 1 megapixel del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño. Para el procesamiento de imágenes se contó con el catálogo AAVSO (American Association of Variable Star Observers) del cual se tomaron las estrellas patrón cuyas magnitudes están medidas con tres dígitos decimales de precisión. Para el desarrollo del trabajo se empleó los programas The Sky, CCSOFT V5.0, Maxim DL V6. Finalmente se hizo un tratamiento matemático de los valores obtenidos de magnitud aparente e índice de color, con lo que se obtuvo otros parámetros físicos como temperatura efectiva, luminosidad, magnitud absoluta y radio de las estrellas.

Palabras clave: *Fotometría, diagrama HR, magnitud, índice de color, secuencia principal, temperatura, observatorio astronómico de Pasto.*

ABSTRACT

Photometry was employed to work with the stellar clusters Taurus' Hyades and Orion's Trapezium to determine some characteristics as apparent magnitude and color index, to obtain the H-R diagram for each. We took about 120 photos from each cluster with blue (B) and green (V) BESSELL filters, using the CELESTRON 14 inches equatorial telescope and the CCD STL 1001E SBIG Camera of 1 megapixel owned by the Astronomical Observatory at the University of Nariño. For image processing we followed the AAVSO catalogue (American Association of Variable Star Observers) from which we took the pattern stars whose magnitudes are measured with three decimal digits precision. For the development of this work we employed software like The Sky, CCDSOFT V5.0, and Maxim DL V6. Finally we did a mathematical treatment of the obtained apparent magnitude values and color index, so we were able to obtain other physical parameters like effective temperature, brightness, absolute magnitude, and stars' radius.

Keywords: Photometry, HR diagram, magnitude, color index, main sequence, temperature, Pasto astronomical observatory.

Tabla de Contenido

Introducción	21
1. Marco teórico	23
1.1 Fotometría	23
1.1.1 Fotometría CCD	23
1.1.2 Magnitud aparente y absoluta	24
1.1.3 Estrellas patrón	25
1.1.4 Coeficiente calidad del aire (Airmass)	25
1.1.5 Fotometría absoluta	27
1.1.6 Fotometría diferencial	28
1.2 Objetos estelares	28
1.2.1 Cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión	28
1.2.2 Cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro	29
1.3 Diagrama Hertzsprung Russell	30
1.4 Software e instrumentación	32
1.4.1 Telescopio Celestron CGE 1400	32
1.4.2 Cámara CCD STL-1001E SBIG	35
1.4.3 Set y Carrusel de Filtros de la Cámara CCD	37
1.4.4 Ruidos intrínsecos de las cámaras CCD	39
1.4.5 Operaciones con imágenes	42
1.4.6 Software utilizado	43
1.4.7 Catálogo AAVSO	44
1.5 Obtención de parámetros físicos	46
1.5.1 Temperatura en función del índice de color	47
1.5.2 Radio de una estrella en función de la temperatura y luminosidad	47

2. Procesamiento de las imágenes	49
2.1 Ruido Bias, ruido térmico y corrección de la eficiencia cuántica de los píxeles mediante cuadros planos	49
2.2 Suma de imágenes, relación señal y ruido (SNR)	50
3. Fotometría	51
3.3 Estrellas Patrón	51
3.4 Calibración y obtención de datos procesados	52
3.5 Identificación de coordenadas y nombres de las estrellas medidas	54
3.6 Procesamiento de los datos exportados	54
4. Tratamiento de datos	56
4.1 Tablas de airmass	58
4.2 Localización de las estrellas consideradas	59
5. Resultados	64
5.1 Diagramas HR por cúmulo	64
5.2 Gráficas de luminosidad, temperatura y radios	67
5.3 Histogramas para los parámetros obtenidos	74
5.4 Comparación con artículos anteriores	81
5.5 Análisis estrella GSC 1265:1052 o W Tau	89
Conclusiones y recomendaciones	91
Anexos	95

Lista de figuras

1	Esquema para la realización de la aproximación de atmósfera plano paralela. La circunferencia pequeña representa la tierra y la grande la atmósfera efectiva. Donde el radio de la tierra es $6371km$ y $Y \approx 9km$. (Fuente: Esta investigación.)	27
2	La constelación de Orión demarcada en color azul marino y el cúmulo del Trapecio encerrado en el círculo rojo. Imagen tomada de The Sky Astronomy software	29
3	La constelación de Tauro delimitada en color azul marino y el cúmulo de las Híades encerrada en el círculo rojo. Imagen tomada de The Sky Astronomy software	30
4	Esquema de un diagrama Hertzsprung-Russell. Imagen tomada del Observatorio Europeo Austral ESO.	32
5	Telescopio Celestron CGE de 14 pulgadas del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño y sus datos técnicos. Imagen tomada del manual de usuario. (Celestron Corporation, 2009)	34
6	Diagrama de ruta de un haz de luz en el interior del telescopio Celestron CGE 1400. Imagen tomada de su manual de usuario. (Celestron Corporation, 2009)	35
7	Puertos de la cámara CCD STL 1001-E SBIG de un megapixel. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barbara Instrument Group, 2003)	36
8	Parte frontal de la cámara CCD STL 1001-E SBIG de un megapixel. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barbara Instrument Group, 2003)	37
9	Curva de luz para el filtro verde. Su máximo valor de transmisión es de 0.85 y se encuentra entre 520 - 530 nanómetros, imagen tomada de Quijano, A. (2006)	38
10	Curva de luz para el filtro azul. Su máximo valor de transmisión es de 0.7 y se encuentra entre 420 - 450 nanómetros, imagen tomada de Quijano, A. (2006)	38
11	Carrusel con los filtros instalados. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barbara Instrument Group, 2003)	39

12	Carrusel de filtros en la placa de cubierta de la cámara CCD. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barbara Instrument Group, 2003)	39
13	Imágen en negativo de una toma oscura de tiempo de exposición nulo "bias frame". Imagen tomada de la Guía de Fotometría CCD de AAVSO. (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO, 2015)	40
14	A la izquierda se ve una toma oscura o dark frame de 10 segundos de exposición, mientras que a la derecha se aprecia una toma oscura de 300 segundos de exposición. Imagen tomada de la Guía de Fotometría CCD de AAVSO. (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO, 2015)	41
15	Captura de pantalla del Catálogo AAVSO con un ejemplo de coordenadas ecuatoriales.	44
16	Captura de pantalla del Catálogo AAVSO para un ejemplo con las opciones avanzadas. (Fuente: Esta investigación)	45
17	Captura de pantalla del Catálogo AAVSO para los datos ingresados en las figuras 15 y 16 (Fuente: Esta investigación)	45
18	Fotometría empleando el software Maxim DI para la toma con estrella GSC 1265:423 del Trapecio de Orión. Primera calibración. (Fuente: Esta investigación.)	53
19	Fotometría empleando el software Maxim DI para la toma con estrella GSC 1265:423 del Trapecio de Orión. Segunda calibración. (Fuente: Esta investigación.)	53
20	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4778:1082 que se ve en el círculo rojo. Fuente: esta investigación.	60
21	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4774:873 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	60
22	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4774:863 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	61
23	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4779:413 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	61
24	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1265:423 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	62
25	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1264:16 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	62

26	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1265:861 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	63
27	Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1265:245 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)	63
28	Diagrama HR para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019.(Fuente: Esta investigación.)	64
29	Diagrama HR para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Magnitud absoluta en filtro visible V respecto a la temperatura en Kelvin. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	65
30	Diagrama HR para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro. Magnitud aparente en filtro visible V respecto del índice de color B-V. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	66
31	Diagrama HR para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro. Magnitud absoluta en filtro visible respecto del la temperatura en Kelvin. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	67
32	Comparación entre los radios encontrados para las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con el radio del sol. La recta roja representa el radio del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	68
33	Comparación entre los radios encontrados para las estrellas del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro con el radio del sol. La recta roja representa el radio del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	69
34	Comparación entre las temperaturas encontradas para las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con la temperatura del sol. La recta roja representa la temperatura del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	70

35	Comparación entre las temperaturas encontrados para las estrellas del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro con la temperatura del sol. La recta roja representa la temperatura del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.) . . .	71
36	Comparación entre las luminosidades encontrados para las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con la luminosidad del sol. La recta roja representa la luminosidad del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.) . . .	72
37	Comparación entre las luminosidades encontradas para las estrellas del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro con la luminosidad del sol. La recta roja representa la luminosidad del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.) . . .	73
38	Histograma de frecuencias para la razón entre la luminosidad de las estrellas del cúmulo de las Híades respecto a la luminosidad del sol. El eje vertical se presenta en escala logarítmica. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	74
39	Histograma de frecuencias para la razón entre la temperatura de las estrellas del cúmulo de las Híades respecto a la temperatura del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	75
40	Histograma de frecuencias para la razón entre el radio de las estrellas del cúmulo de las Híades respecto al radio del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	76
41	Histograma de frecuencias para la razón entre la luminosidad de las estrellas del cúmulo del Trapecio respecto a la luminosidad del sol. El eje vertical se presenta en escala logarítmica. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	77
42	Histograma de frecuencias para la razón entre la temperatura de las estrellas del cúmulo del Trapecio respecto a la temperatura del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	78
43	Histograma de frecuencias para la razón entre el radio de las estrellas del cúmulo del Trapecio respecto al radio del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)	79

44	Diagrama H-R de las estrellas del cúmulo del Trapecio en azul, del cúmulo de las Híades en rojo y el sol en negro. Radio del sol $R_s = 695.700$ km. Luminosidad del sol $L_s = 3,828 \times 10^{26}$ W. (Fuente: Esta investigación.)	80
45	Diagrama HR para las Híades medidas en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño. (Fuente: Esta investigación.)	81
46	Diagrama HR para las Híades por M.A.C. Perryman et al en 1998 Perryman, M.A.C., Brown, A.G.A, Lebreton, Y., Gomez, A., Turon, C., Cayrel, G.,...Crifo, F. (1998).	82
47	Diagrama HR para las Híades por De Bruijne et al en 2001 de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001).	83
48	Diagrama HR para las Híades por De Bruijne et al en 2001 de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001).	84
49	Diagrama HR para las Híades por Mafla K. en 2016 Mafla (2016).	85
50	Diagrama HR para el trapecio de Orión obtenido en el presente trabajo. (Fuente: Esta investigación.)	86
51	Diagrama HR para el trapecio de Orión por Warman, J. and Echevarria, J. en 1977 Warman y Echevarria (1977).	87
52	Diagrama HR para el Trapecio de la constelación de Orión, Magnitud en función de la temperatura efectiva en Kelvin por F. C. Riddick, P. F. Roche y P. W. Lucas en 2007 Riddick, F.C. and Roche, P.F. and Lucas, P.W. (2007).	88
53	Datos de la magnitud aparente para la estrella W Tau medidos por diferentes observatorios y anexados en el catálogo AAVSO. En color verde la magnitud en filtro visible y de color azul la magnitud con filtro azul. AAVSO (2019a)	90
54	Datos de la magnitud aparente para la estrella W Tau medidos por diferentes observatorios para las fechas correspondientes al presente trabajo (febrero y marzo de 2019) y anexados en el catálogo AAVSO. En color verde la magnitud en filtro visible y de color azul la magnitud con filtro azul. AAVSO (2019b)	90

Lista de tablas

1	Estrellas patrón tomadas del catálogo AAVSO para el cúmulo de el Trapecio de Orión.	51
2	Estrellas patrón tomadas del catálogo AAVSO para el cúmulo de las Híades de Tauro.	52
3	Valor de airmass para cada imagen del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Cálculo del ángulo zenital usando la ecuación 6.	58
4	Valor de airmass para cada imagen del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro. Cálculo del ángulo zenital usando la ecuación 6.	59
5	Características de la estrella variable W Tau. Datos tomados del catálogo AAVSO	89

Lista de anexos

A. Tablas de datos para las estrellas del cúmulo de las Híades	96
B. Tablas de datos para las estrellas del cúmulo del Trapecio	111
C. Constantes usadas en el proyecto	123
D. Imágenes capturadas para el proyecto	125

GLOSARIO

Brillo: Es la medida del número de fotones que llegan por unidad de tiempo y por unidad de área a un determinado detector (Quijano, A., 2006).

Constelación: Desde hace miles de años, los antiguos pobladores han identificado figuras formadas por estrellas, las formas que imaginaron, tenía mucho que ver con su cultura, religión y creencias. Las más famosas vienen de la cultura griega, aunque los árabes y chinos realizaron grandes contribuciones al descubrimiento de éstas. La Unión Astronómica Internacional decidió dividir el cielo en 88 constelaciones y actualmente delimitan regiones y no están restringidas al lugar que delimita la figura. Sus límites están bien definidos (Olguin, 2019).

Constelación de Orión: Es una de las constelaciones más populares, donde se distinguen cuatro estrellas que forman un rectángulo: Bellatrix, Betelgeuse, Rigel y Saiph, junto con otras tres que forman el cinturón. La constelación es de invierno y se encuentra en el ecuador celeste, observándose entre los meses de diciembre y enero (Portilla, J.G., 2001).

Constelación de Tauro: Es una constelación que colinda con la de Orión, se caracteriza por dibujar sobre el firmamento un toro, se destacan las estrellas Aldelbarán y El Nath, incluye dos grupos de estrellas más llamativos en el firmamento: Las Pleyades y las Híades, estas últimas conformando la cabeza del toro (Portilla, J.G., 2001).

Cúmulo: Es una agrupación de estrellas, en un volumen relativamente pequeños, del orden de 6 años luz. Son estrellas, que se consideran similares, pero que de forma individual no poseen interacción gravitatoria entre sí. Son también progresiones, donde las estrellas primeramente, de forma individual pasan a agruparse en sistemas binarios y triples hasta la aglomeración de muchas estrellas (Oster, 2004)(Negueruela y Clark, 2005).

Cúmulo estelar abierto: Son un laboratorio ideal de estudio para teorías de formación, estructura y evolución de estrellas, dado que sus miembros han estado formados de la misma nube de material

molecular, se puede decir, que la mayoría de estrellas tienen las siguientes características: la misma edad estelar, difiriendo en algunos millones de años. La misma distancia. El mismo elemento inicial en abundancia y el mismo espacio de movimiento (de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T., 2001).

Estrella: Una estrella es una esfera de gas caliente y brillante, que se caracteriza por fusionar hidrógeno. Es decir, cuatro protones de hidrógeno se unen para formar un núcleo de helio, liberando con esto dos positrones, dos neutrinos y una gran cantidad de energía en forma de fotones. Una estrella puede tener varios nombres según el catálogo que se consulte, una forma de nombrarlas es de acuerdo a su brillo y posición en el cielo (P. y E., 2008)(Hermans, s.f.).

Estrella Variable: Cualquier estrella que varíe en el brillo, su clasificación depende de su curva de luz, su amplitud y su periodicidad (Ridpath, 1999).

FIT o FITS: Flexible Image Transport System es el formato de archivo más utilizado comúnmente en el mundo de la astronomía. FITS también es utilizado para almacenar datos que no son imágenes, como espectros electromagnéticos, cubos de datos y muchos más. Un fichero FITS podría contener varias extensiones, y cada una de ellas podría contener datos de un objeto. Por ejemplo, es posible almacenar imágenes de rayos X y también imágenes pertenecientes al infrarrojo en el mismo archivo FITS.

Sol: El sol es una estrella enana y amarilla, su edad se calcula en unos 4500 millones de años. En el interior de las estrellas compiten dos fuerzas. Una es la gravedad, que tiende a comprimirlas, y otra es la presión debida a la energía que producen. Las condiciones extremas de temperatura y presión del Sol hacen que el material del que está hecho se encuentre en un estado conocido como plasma. Desde la tierra es posible evidenciar una capa externa, caracterizada por su brillo denominada fotosfera, caracterizada por ser densa y opaca. (Flandes, 2013).

Temperatura: Energía cinética media de los electrones libres(Oster, 2004). Medida de la energía calorífica contenida en un cuerpo, se emite de varias formas. Para el presente trabajo entiéndase

como un cuerpo negro que tiene el mismo índice de color que una estrella. Debido a que las estrellas no radian como un cuerpo negro perfecto, la temperatura de color difiere de acuerdo al índice de color utilizado, en este caso B-V (Ridpath, 1999).

Introducción

El observatorio astronómico de la Universidad de Nariño, cuenta con equipos especializados para la realización de trabajos de investigación que han sido reconocidos a nivel nacional e internacional por su gran aporte al avance de la ciencia Colombiana. Es por ello, que se ha decidido realizar un trabajo teórico práctico, que genere un avance del conocimiento en la región del sur occidente Colombiano, rompiendo de esta manera la brecha teórica y dando paso al campo de la experimentación.

La fotometría, es una rama milenaria de la astronomía, que ha descrito el firmamento a través de la brillantez de los cuerpos. Se resalta el trabajo desarrollado por el antiguo griego Hiparco, quien desarrolló a simple vista uno de los primeros catálogos estelares, clasificando estrellas por brillantez mediante seis escalas, que hoy se conocen como magnitudes. La fotometría es empleada debido a su instrumentación óptica y electrónica que permite desarrollar la captura de datos.

El presente trabajo de grado, se desarrolla en forma experimental, haciendo uso de los equipos con los que cuenta el observatorio astronómico, como el telescopio Celestron de 14", la cámara CCD de 1 megapixel, además del set de filtros BESSEL verde y azul de 50 mm. Estos instrumentos se han aprovechado para la obtención de 130 imágenes por cada filtro y unas 400 imágenes adicionales de cuadros planos para el tratamiento de los ruidos.

Se utilizó el catálogo de la Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO para hacer fotometría con estrellas patrón. Se destaca, que este catálogo contiene medidas de magnitud aparente con tres cifras decimales para cada estrella.

La investigación desarrollada en este trabajo, toma como base de estudio los cúmulos de las Híades de la constelación de Tauro y el Trapecio de la constelación de Orión, debido a su visibilidad en el cielo, justo cerca del cenit durante las noches de febrero y marzo de 2019, lo que experimentalmente genera una buena calidad en la toma de datos. Además, este estudio presenta la ventaja de que al realizar el cálculo de la magnitud aparente ésta solo difiere de la magnitud absoluta en un valor constante, denominado modulo de distancia, para todos las estrellas de cada cúmulo estelar.

El diagrama Hertzsprung Russell o simplemente diagrama HR, muestra la luminosidad de las estrellas respecto a su tipo espectral, temperatura ó índice de color. En el eje horizontal del diagrama varía el índice de color, pasando de azul hasta el rojo . Por otro lado, en el eje vertical se pueden considerar magnitudes absolutas o aparentes. El diagrama consta de una gran banda denominada secuencia principal donde se encuentran la mayoría de estrellas, esta banda atraviesa el gráfico.

Las imágenes obtenidas en la experimentación, fueron procesadas mediante software de computación especializado, que permitió eliminar ruidos a las imágenes para posteriormente encontrar el valor de la brillantez de las estrellas de los cúmulos y finalmente consignar en tablas para graficar los resultados obtenidos. Luego haciendo uso de la literatura científica, se realizó un análisis de datos, que permitió encontrar parámetros físicos de las estrellas como su radio y luminosidad.

Marco teórico

El primer catálogo estelar conocido fue desarrollado por el astrónomo griego Hiparco de Nicea en el siglo 2 A.C. el cual contenía cerca de 850 estrellas de 48 constelaciones. Esta clasificación se realizó teniendo en cuenta 6 categorías, asignando el valor de 6 a las menos brillantes y disminuyendo hasta 0 para las más brillantes (Quijano, A., 2006) .

1.1. Fotometría

La fotometría es la parte de la astronomía que permite el estudio de la intensidad luminosa emitida por un cuerpo celeste en una determinada banda de frecuencias. Antes de la invención de las cámaras CCD se debía tomar las fotografías, pero solo después de ser reveladas era posible observar si estas habían sido tomadas de forma correcta. Esto incluyendo errores como saturación, desenfoque, entre otros. Además, el tener las imágenes en forma digital favorece el procesamiento mediante software (Quijano, A., 2006).

1.1.1. Fotometría CCD

El dispositivo de carga acoplado **CCD** (por sus siglas en inglés) permite realizar el paso de la información obtenida por el sistema telescopio-cámara a una imagen digital. El funcionamiento de este chip se basa en el fenómeno fotoeléctrico: cuando los fotones interactúan con el semiconductor emite electrones, los cuales son atrapados en un pozo de potencial que permite su paso en forma ordenada. Esta información es interpretada por el software en términos de cuentas para realizar una reconstrucción digital de la imagen observada con el telescopio (Quijano, A., 2006).

1.1.2. Magnitud aparente y absoluta

La clasificación realizada por Hiparco se mantiene vigente hasta el día de hoy, teniendo en cuenta que dicha magnitud se conoce como **magnitud aparente**, la cual representa el brillo de la estrella vista por un observador desde la tierra. Debido a que el ojo humano tiene una respuesta logarítmica, por tanto la escala de la **magnitud aparente** también debe serlo (Quijano, A., 2006).

Trabajar con la **magnitud aparente** presenta un problema debido a que para un objeto se verá mas brillante cuanto esté más cerca del observador en la tierra y menos brillante cuanto más alejado esté. Para esto se utiliza la **magnitud absoluta** la cual da el valor del brillo de la estrella como si ésta estuviese ubicada a 10 *parsecs* de distancia de La Tierra (32.6 años luz o 3.086×10^{14} km) (Quijano, A., 2006).

Debido a que la intensidad luminosa obedece la ley del inverso del cuadrado:

$$\frac{I_{ap}}{I_{ab}} = \left(\frac{10}{d}\right)^2$$

$$\log\left(\frac{I_{ap}}{I_{ab}}\right) = 2\left(\frac{10}{d}\right) = 2 \log 10 - 2 \log d$$

$$\log\left(\frac{I_{ap}}{I_{ab}}\right) = 2 - 2 \log d \quad (1)$$

Si m es la magnitud aparente correspondiente a I_{ap} y M es la magnitud absoluta correspondiente a I_{ab} , se tiene por definición que

$$M - m = -2,5 \log(I_{ab}) - [-2,5 \log(I_{ap})]$$

$$M - m = 2,5 \log \left(\frac{I_{ap}}{I_{ab}} \right) \quad (2)$$

Remplazando

$$M - m = 2,5(2 - 2 \log d) = 5 - 5 \log d \quad (3)$$

Donde M es la **magnitud absoluta**, m la **magnitud aparente** y d es la distancia de la tierra a la estrella en parsecs. Esta relación es conocida como **módulo de distancia**.

1.1.3. Estrellas patrón

Para este trabajo se usó la técnica de fotometría diferencial. En la que se tomó como **estrellas patrón** ocho estrellas de magnitud conocida en filtros Azul (B) y Visible (V) medidos con tres dígitos de precisión decimal. Estos datos fueron obtenidos del catálogo **AAVSO** (American Association of Variable Star Observers)

1.1.4. Coeficiente calidad del aire (Airmass)

La luz que emiten las estrellas al llegar la tierra se ve afectada por la atmósfera, aumentando el valor de la magnitud percibida por los instrumentos. La posición geográfica del telescopio a la hora de la medición y el ancho de banda de los filtros también cambian el valor de la magnitud. Teniendo en cuenta que la toma de las imágenes se realiza usando filtros, entonces se restringe a que dichos efectos deban ser tratados para cada filtro por separado. Estos efectos reciben el nombre de coeficiente de extinción atmosférica y masa del aire presente para un ángulo cenital Z . Teniéndose en general para una longitud de onda λ (que da el tipo de filtro usado) la siguiente expresión:

$$m_{\lambda Obs} = m_{\lambda} + K_{\lambda} X_Z + C \quad (4)$$

Donde $m_{\lambda Obs}$ es la magnitud aparente medida por un observador en una longitud de onda λ , la magnitud aparente real del objeto en dicha banda es m_{λ} (medida fuera de la atmósfera y a través de detectores ideales), K_{λ} es el coeficiente de extinción atmosférica en la longitud λ , y X_Z es la masa de aire presente en un ángulo cenital z y C es la constante instrumental dada por el equipo involucrado en el proceso de medición (Quintero, 2010).

El ángulo cenital es el ángulo existente entre el cenit y la estrella. Si h es la coordenada de la altura de la estrella sobre el horizonte, entonces $z = 90 - h$.

Para obtener el **coeficiente de la masa del aire** es necesario conocer el valor la coordenada horizontal denominada *altura* de la estrella, las coordenadas geográficas del observatorio en el que se hizo la toma de datos y la hora en que fueron realizadas.

$$X_Z = [\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos(HA)]^{-1} \quad (5)$$

Donde ϕ es la latitud del lugar de observación, δ es la declinación de la estrella, y HA es el ángulo horario, es decir, la diferencia existente entre el tiempo sidereal en el momento del estudio y la ascensión recta de la estrella (Quintero, 2010).

Es posible realizar una aproximación, la cual es válida para ángulos pequeños, la cual se conoce como **aproximación de atmósfera a plano paralelo**. Cuando el ángulo zenital es pequeño se puede considerar la atmósfera como un plano paralelo a la tierra (Quintero, 2010).

En la figura 1 se observa que cuando la estrella está más cerca del zenit, el arco entre la estrella y el zenit se puede aproximar a una recta, en este caso, la razón entre la distancia **S** del observatorio a la atmósfera efectiva en dirección de la estrella y la distancia **Y** del observatorio a la atmósfera efectiva en dirección del zenit se puede calcular usando la función trigonométrica secante del ángulo **Z**. En cuyo caso, siendo z la distancia zenital, el **coeficiente de calidad del aire** se reduce a:

$$X_z = 1 / \cos Z = \sec Z \quad (6)$$

Para el caso cuando la estrella se encuentre en el zenit, la razón para el airmass sería $X_z = S/Y = 1$ y el ángulo zenital $1/\sec(Z) = 1$

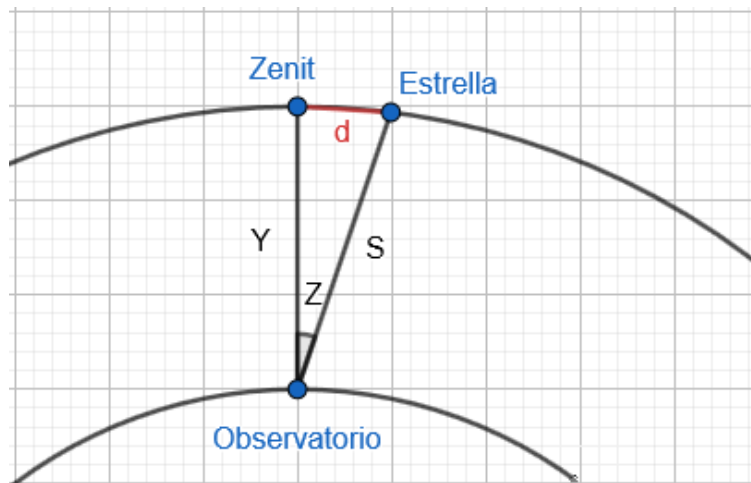


Figura 1: Esquema para la realización de la aproximación de atmósfera plano paralela. La circunferencia pequeña representa la tierra y la grande la atmósfera efectiva. Donde el radio de la tierra es $6371km$ y $Y \approx 9km$. (Fuente: Esta investigación.)

1.1.5. Fotometría absoluta

Existen dos tipos de fotometría: absoluta y diferencial. La fotometría absoluta consiste en tomar una gran extensión de cielo para su estudio, donde se realizan tomas de datos en varias zonas del firmamento, cada zona presenta diferentes parámetros (airmass, ángulo zenital, entre otros) que deben ser tenidas en cuenta para posteriormente procesarlas como si hubiese sido tomadas en una sola imagen. En esta técnica es necesario conocer con precisión el coeficiente de extinción atmosférica y la constante instrumental (Quintero, 2010).

El coeficiente de extinción atmosférica y la constante instrumental se calculan tomando imágenes de la estrella de interés por varias noches, luego se realiza una regresión lineal entre $m_\lambda - m_{\lambda_0}$ y

X_z (siendo m_λ la magnitud de la estrella a medir, m_{λ_0} la magnitud de la estrella conocida o patrón y X_z el coeficiente de calidad del aire) entonces, la pendiente corresponde al coeficiente de extinción atmosférica y el intercepto con el eje vertical corresponde a la constante instrumental. El coeficiente de la masa del aire se obtiene con la ecuación (5) Con esto en la ecuación (4) se despeja m_λ y se obtiene el valor de la magnitud (Quintero, 2010).

1.1.6. Fotometría diferencial

A diferencia de la **fotometría absoluta**, en la **fotometría diferencial** se escogió una fracción pequeña del cielo para su estudio. Esto conlleva a que las condiciones para todas las estrellas que se encuentran en la misma fotografía sean las mismas. La diferencia entre la **magnitud absoluta** y la **magnitud aparente** ecuación (3) se conoce como *módulo de distancia* y para el caso a tratar, este valor es aproximadamente constante para todas las estrellas de cada cúmulo (Quintero, 2010).

1.2. Objetos estelares

1.2.1. Cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión

El cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión es un sitio ideal para estudiar formación de estrellas, también para analizar estrellas que poseen baja masa y además el estudio de objetos subestelares, es decir de aquellos cuyas masas están por debajo de 0.075 masas solares. El cúmulo es extremadamente poblado y compacto, se encuentra a una distancia estimada entre los 400 y 480 parsecs (Riddick, F.C. and Roche, P.F. and Lucas, P.W. , 2007)

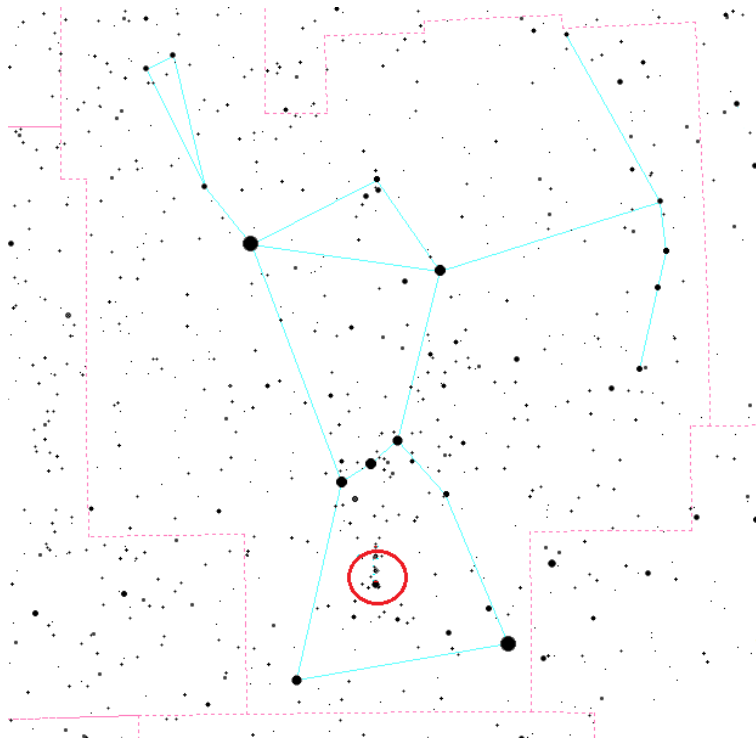


Figura 2: La constelación de Orión demarcada en color azul marino y el cúmulo del Trapecio encerrado en el círculo rojo. Imagen tomada de The Sky Astronomy software

1.2.2. Cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro

El cúmulo abierto de las Híades es de gran interés científico, debido a su distancia aproximada de 45 parsecs, su contenido de helio, su amplia variedad de estrellas entre las que se destacan enanas blancas y gigantes rojas en la secuencia principal (Sato y cols., 2007).

Este cúmulo posee una amplia investigación en cuanto a formación, estructura y evolución. En investigaciones realizadas el siglo pasado se trabajaron ampliamente magnitudes absolutas y relaciones masa-luminosidad. En este cúmulo se destacan objetos con ciertas características como la misma edad y distancia además de los mismos elementos abundantes (de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T., 2001).

Este cúmulo posee una amplia investigación en cuanto a formación, estructura y evolución. En

investigaciones realizadas el siglo pasado se trabajaron ampliamente magnitudes absolutas y relaciones masa-luminosidad. En este cúmulo se destacan objetos con ciertas características como la misma edad y distancia además de los mismos elementos abundantes (de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T., 2001)

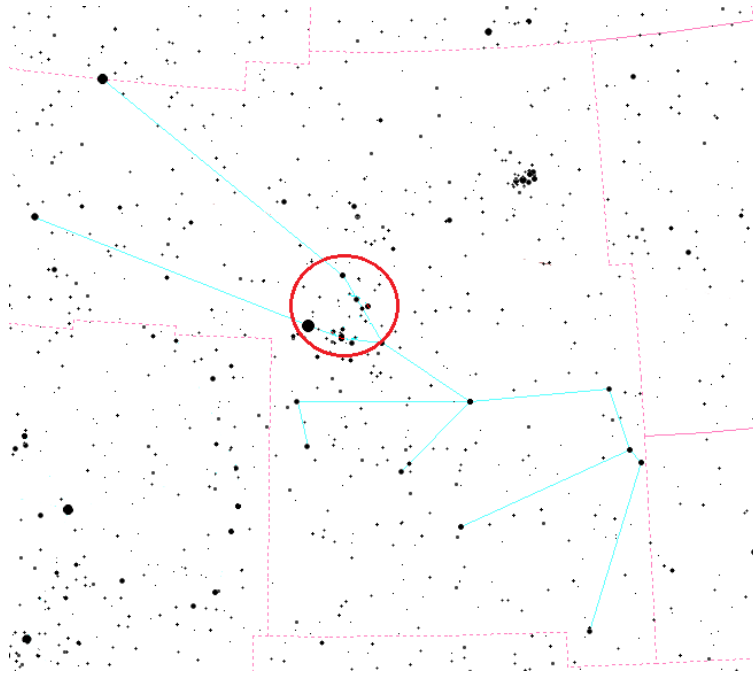


Figura 3: La constelación de Tauro delimitada en color azul marino y el cúmulo de las Híades encerrada en el círculo rojo. Imagen tomada de The Sky Astronomy software

1.3. Diagrama Hertzsprung Russell

A comienzos del siglo XX, trabajando por separado, los científicos **Henry Norris Russell** y **Ejnar Hertzsprung** hicieron uno de los primeros intentos por clasificar las estrellas en un sistema apropiado y científico. Desarrollaron un diagrama que permite estudiar la evolución y edad de las estrellas. Consiste en un gráfico que muestra la luminosidad de las estrellas respecto a su tipo espectral, temperatura o índice de color. Previamente Russell elaboró su diagrama en términos del tipo espectral, mientras que Hertzsprung se enfocó en un gráfico de color. Posteriormente estos diagramas fueron unificados en lo que actualmente es conocido como Diagrama Hertzsprung-Russell o simplemente Diagrama H-R (Rego, 2000)(Snyder, 2007).

El eje horizontal del diagrama, representa el tipo espectral, temperatura o el índice de color (denominado B-V). Aquí varía el índice de color que va en aumento, pasando del azul hasta el rojo y la temperatura en sentido inverso. Por otro lado, en el eje vertical se pueden considerar magnitudes absolutas o aparentes, también es posible emplear la luminosidad de las estrellas en términos de la luminosidad del Sol (Rego, 2000)(Snyder, 2007).

El diagrama consta de una gran banda denominada secuencia principal donde se encuentran la mayoría de estrellas. En esta banda, se encuentran las estrellas más comunes, aquí permanecerán la mayor parte de su vida, se caracterizan por producir fusión de hidrógeno en helio. La ubicación de una estrella en la secuencia depende de su masa (Rego, 2000)(Snyder, 2007).

Los cúmulos estelares son agrupaciones de estrellas que nacieron juntas a partir de la misma nube de gas interestelar, y el diagrama H-R analiza las características de ellos. Un ejemplo sería, su rango de masas, que van desde muy masivas a baja masa a través de la secuencia principal, cuando el cúmulo es muy joven (Rego, 2000)(Snyder, 2007).

Con el pasar del tiempo, en cientos o miles de millones de años, las estrellas realizan sus procesos de fusión de hidrógeno a helio, esto es más notorio en las estrellas más brillantes de la secuencia, que pasan a ser estrellas supergigantes ó gigantes rojas. Se observa que van disminuyendo su temperatura y aumentando su tamaño (Rego, 2000)(Snyder, 2007).

En cuanto al tamaño de las estrellas, este varía en forma logarítmica y se expresa en términos de radios solares, atravesando el diagrama desde la zona azul a la zona roja. En este orden de ideas, se puede encontrar estrellas con tamaños cercanos a los de La Tierra en la zona azul, como estrellas con tamaños cientos de veces el radio solar en la zona de supergigantes o rojas con baja temperatura (Rego, 2000)(Snyder, 2007).

En la figura 4 se muestra el diagrama H-R, donde se observa en el eje horizontal el índice de color B-V y en el eje vertical la magnitud aparente medida en filtro V. (Snyder, 2007)

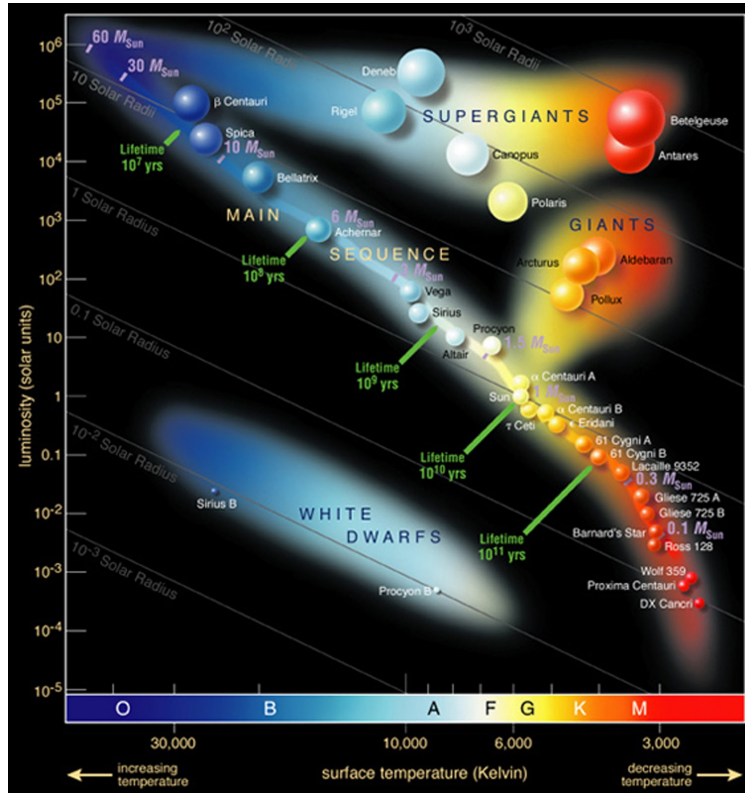


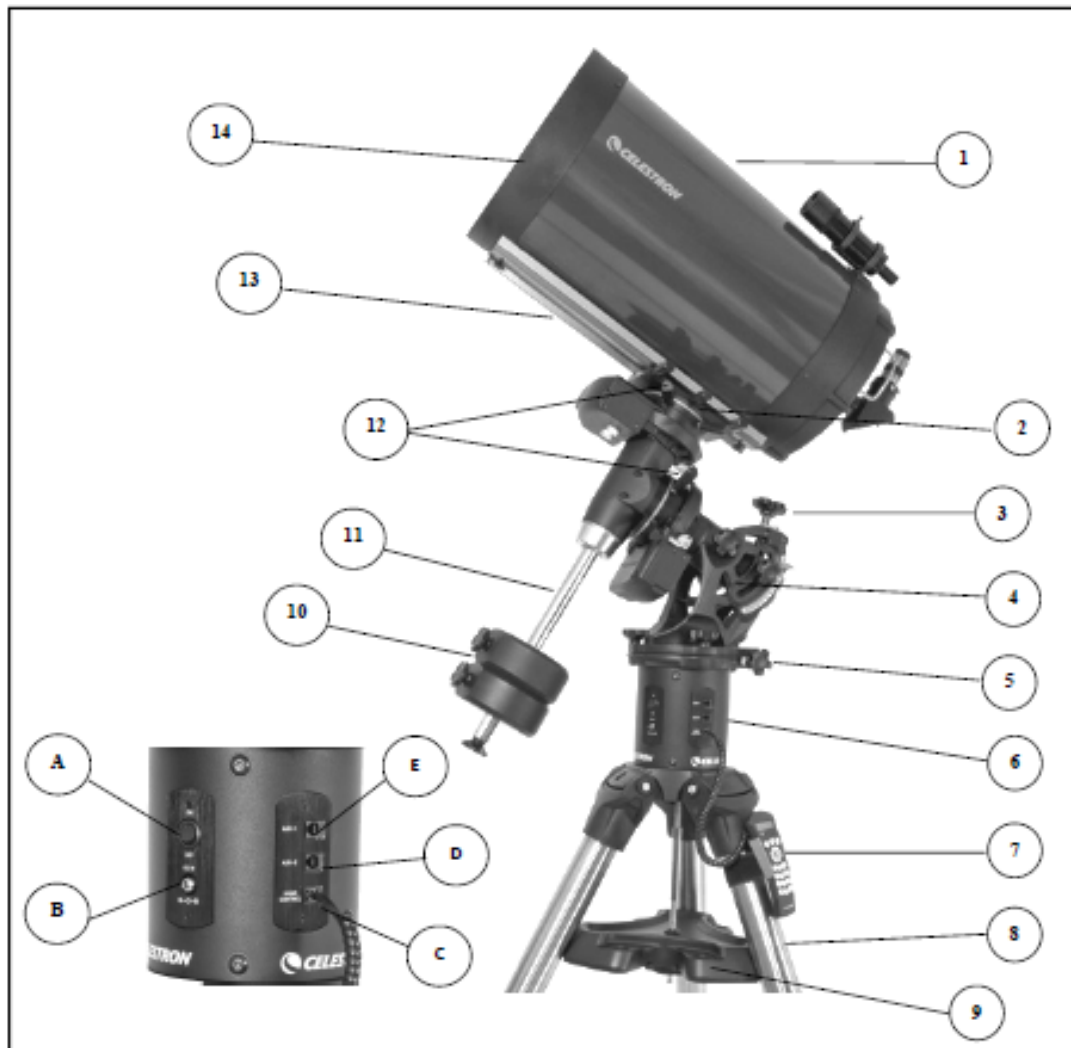
Figura 4: Esquema de un diagrama Hertzsprung-Russell. Imagen tomada del Observatorio Europeo Austral ESO.

1.4. Software e instrumentación

1.4.1. Telescopio Celestron CGE 1400

Para la realización del presente trabajo se empleó el telescopio CELESTRON CGE 1400 ecuatorial de 14 pulgadas de diámetro ó 356 mm Schmidt-Cassegrain del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño (figura 5). Este telescopio se caracteriza por tener una longitud focal de 3910 mm y una relación focal de F/11. Además, cuenta con un sistema óptico que usa una combinación de espejos y lentes por lo que es referido como un telescopio catadióptrico como se ve en la figura 6, es decir que este diseño, ofrece grandes distancias focales en un tubo óptico pequeño (Celestron Corporation, 2009).

El telescopio se encuentra empotrado sobre una columna, donde ha sido previamente calibrado con software que viene con el telescopio, además de ser puesto en una cuña con inclinación adecuada para acoplarse a una latitud menor a 10 grados. El telescopio es operado por el software de The Sky, posee una interfase RS232 (protocolo para que el computador haga la comunicación en doble sentido), velocidad del modem interno (velocidad de transformación), el software que permite enlazar el telescopio con el computador es Celestron MCupdate y Celestron HCupdate.



1	Optical Tube	8	Tripod
2	Telescope Mounting Platform	9	Tripod Center Leg Brace/Accessory Tray
3	Latitude Adjustment Knob	10	Counterweight(s)
4	Equatorial Mount	11	Counterweight Bar
5	Azimuth Adjustment Knob	12	RA/DEC clutch knobs
6	Electronic Pier	13	Dovetail Mounting Bar
7	Hand Control	14	Schmidt Corrector Lens
CONTROL PANEL		C	Hand Control Port
A	On/Off Switch	D	Aux Port 1
B	12v Input Jack	E	Aux Port 2

Figura 5: Telescopio Celestron CGE de 14 pulgadas del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño y sus datos técnicos. Imagen tomada del manual de usuario. (Celestron Corporation, 2009)

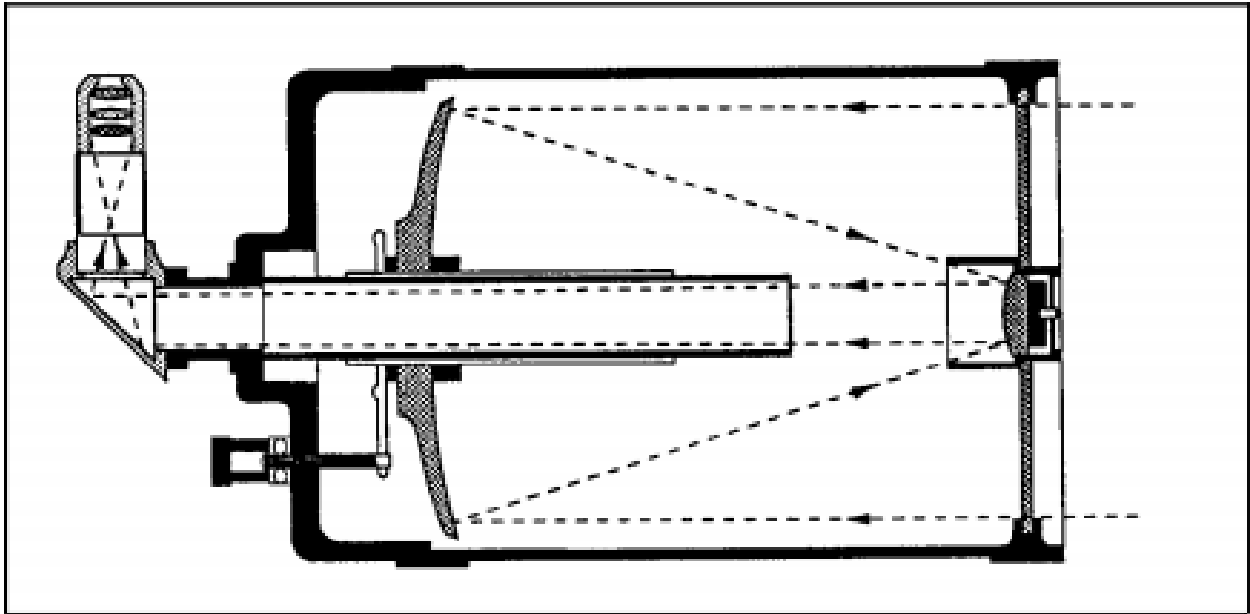


Figura 6: Diagrama de ruta de un haz de luz en el interior del telescopio Celestron CGE 1400. Imagen tomada de su manual de usuario. (Celestron Corporation, 2009)

1.4.2. Cámara CCD STL-1001E SBIG

Mediante la cámara CCD STL-1001E SBIG de 1 megapíxel del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño, se obtuvieron las imágenes de los cúmulos trabajados. Esta es una cámara de sexta generación desarrollada por el grupo de instrumentos de Santa Barbara USA. Sus principales características radican en que el sensor CCD tiene unas dimensiones de 24.6 mm x 24.6 mm, con una diagonal en este de 34.8 mm. El tamaño de cada píxel es de 24 x 24 micrometros cuadrados. La cámara posee tiempos de exposición que van desde los 0.11 s. hasta 3600 s (Santa Barabara Instrument Group, 2003).

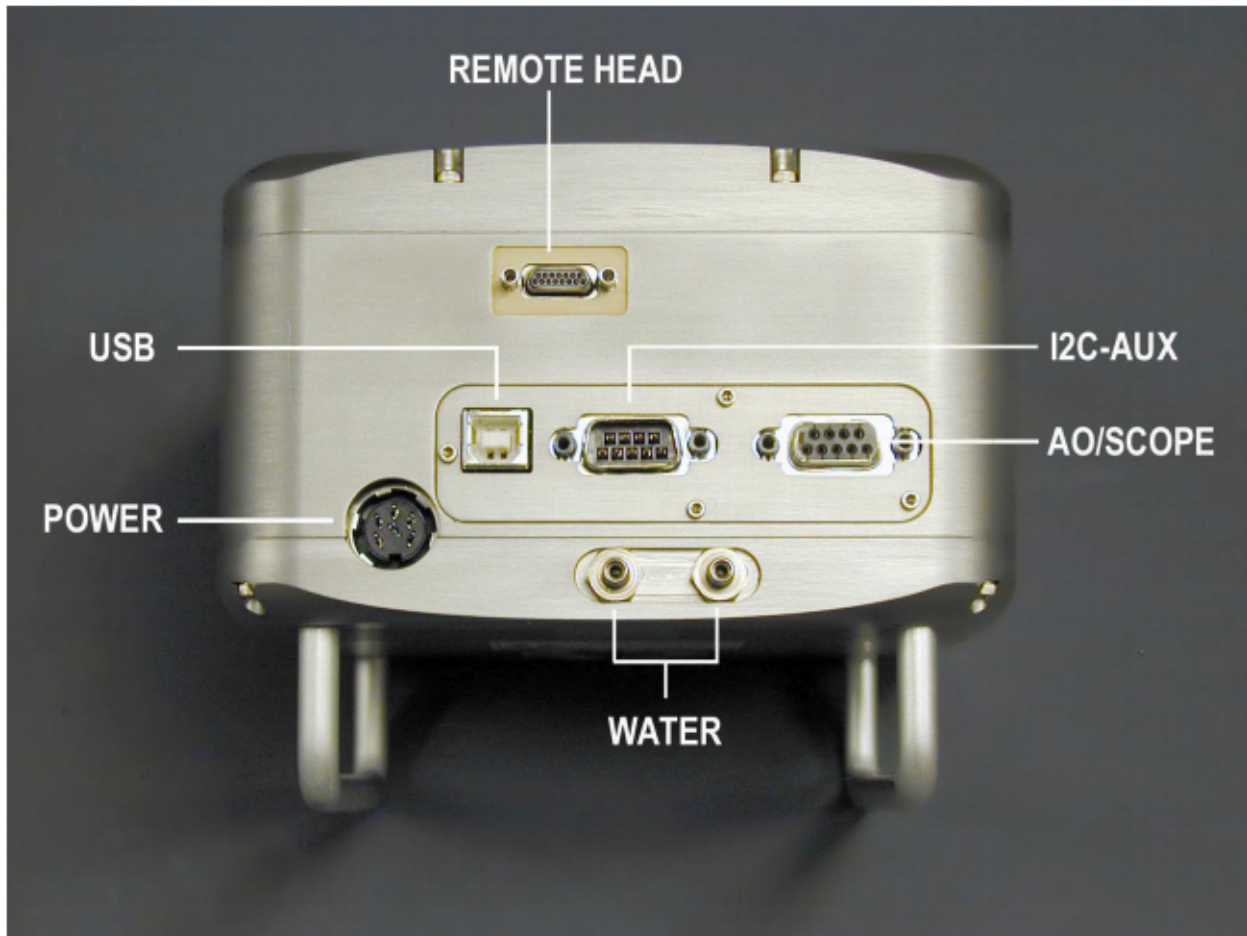


Figura 7: Puertos de la cámara CCD STL 1001-E SBIG de un megapixel. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barabara Instrument Group, 2003)

En la figura 8 se muestra la parte frontal de la cámara CCD, en ella se observa la apertura, que se acopla al tubo del ocular del telescopio. La cámara cuenta con un accesorio denominado carrusel de filtros, con el cual se trabajó y se mencionará mas adelante (Santa Barabara Instrument Group, 2003).

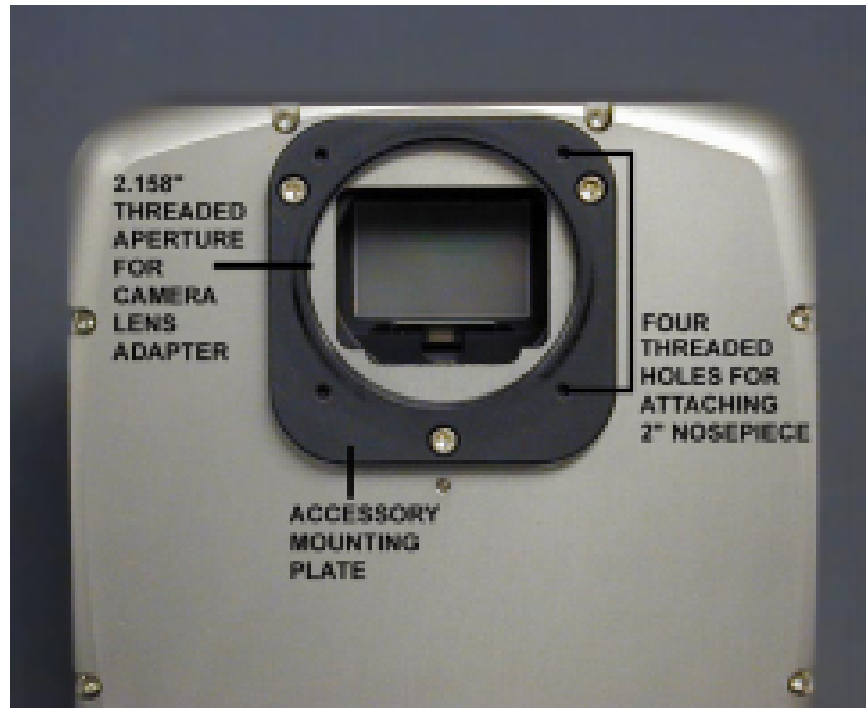


Figura 8: Parte frontal de la cámara CCD STL 1001-E SBIG de un megapixel. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barabara Instrument Group, 2003)

1.4.3. Set y Carrusel de Filtros de la Cámara CCD

La cámara CCD con la que se realizó la toma de fotografías, cuenta con elementos adicionales, tales como: un set de filtros y un carrusel que los rota con previa programación. Los filtros son de 50 mm del tipo BESSEL, cuyas curvas se ven en las figuras 9 y 10

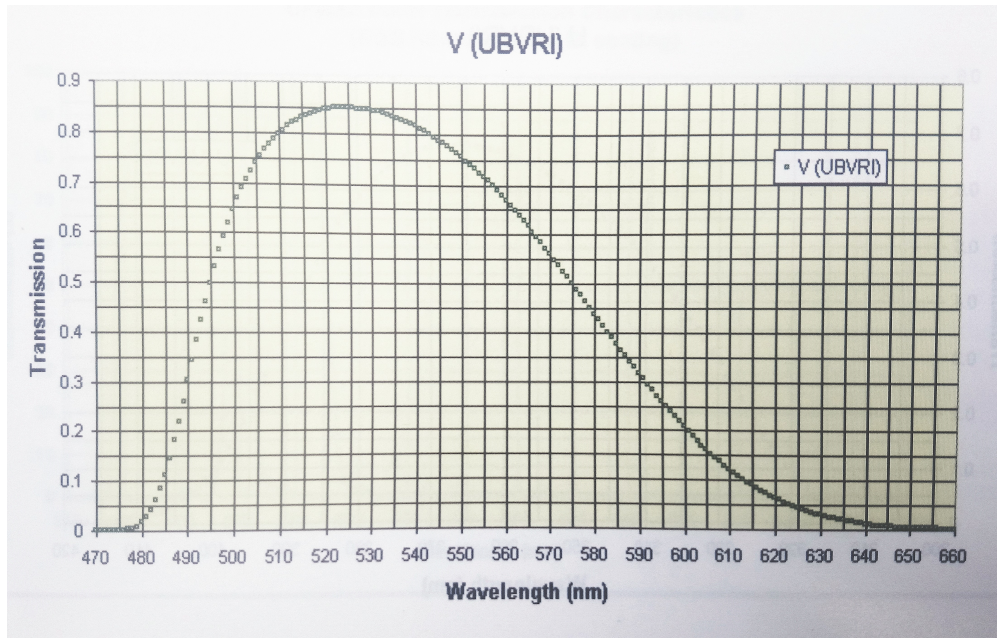


Figura 9: Curva de luz para el filtro verde. Su máximo valor de transmisión es de 0.85 y se encuentra entre 520 - 530 nanómetros, imagen tomada de Quijano, A. (2006)

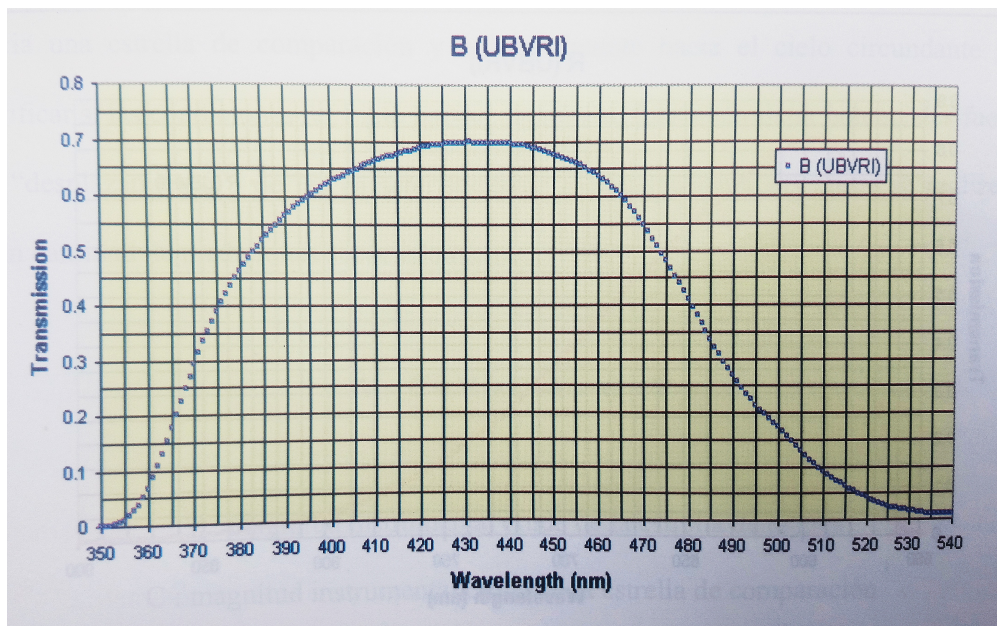


Figura 10: Curva de luz para el filtro azul. Su máximo valor de transmisión es de 0.7 y se encuentra entre 420 - 450 nanómetros, imagen tomada de Quijano, A. (2006)

El carrusel de filtros es un dispositivo que se adapta en la placa de la cubierta de la cámara CCD como se muestra en la figura 12 a través de un tornillo central único. Estos materiales son muy sensibles al polvo y la humedad. (Santa Barabara Instrument Group, 2003)

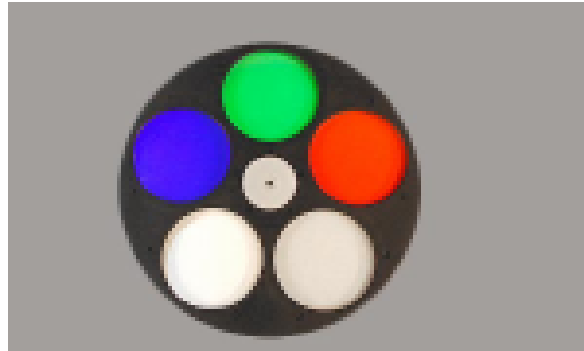


Figura 11: Carrusel con los filtros instalados. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barabara Instrument Group, 2003)



Figura 12: Carrusel de filtros en la placa de cubierta de la cámara CCD. Imagen tomada de su manual de operación. (Santa Barabara Instrument Group, 2003)

1.4.4. Ruidos intrínsecos de las cámaras CCD

El funcionamiento de las cámaras CCD está basado en el fenómeno del efecto fotoeléctrico. Presentan dos ruidos principales y un problema de tipo cuántico en los píxeles.

Los **ruidos bias** se deben a la electrónica del sistema, dado que la cámara CCD posee un ruido intrínseco que añade información a cada imagen tomada y no depende del tiempo de exposición. Para solucionar esto se debe tomar una imagen con el obturador cerrado y tiempo de exposición nulo, la imagen contiene el ruido (aleatorio) de lectura del amplificador y ruido electrónico de la cámara. Restar el bias permite remover este efecto de la imagen. Un ejemplo se aprecia en la figura 13 (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO, 2015).

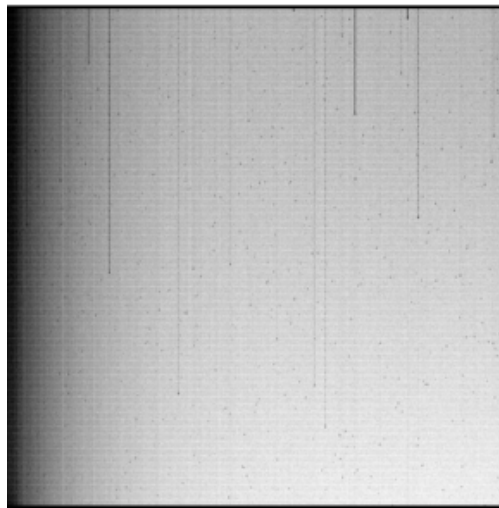


Figura 13: Imágen en negativo de una toma oscura de tiempo de exposición nulo "bias frame". Imágen tomada de la Guía de Fotometría CCD de AAVSO. (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO, 2015)

El segundo de ellos es debido a la temperatura del dispositivo, denominado **ruido oscuro**. Para disminuir este ruido se debe trabajar con la menor temperatura posible y de tal manera que esta sea constante. Esto se ejecuta en la cámara CCD mediante un semiconductor que funciona con el principio Peltier.

El movimiento de los electrones en el interior del chip ccd, genera ruido que es proporcional al tiempo de exposición de la imagen. Para disminuir este ruido se deben tomar varias imágenes oscuras del mismo tiempo de exposición y misma temperatura de la imagen que se desea quitar los ruidos. La figura 14 muestra un ejemplo de dark frame con tiempos de exposición de 10 y 300

segundos.

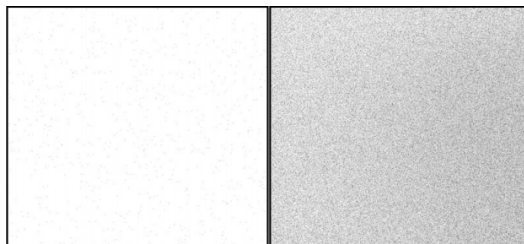


Figura 14: A la izquierda se ve una toma oscura o dark frame de 10 segundos de exposición, mientras que a la derecha se aprecia una toma oscura de 300 segundos de exposición. Imagen tomada de la Guía de Fotometría CCD de AAVSO. (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO, 2015)

El tercer factor corresponde a un problema cuántico en la respuesta de los píxeles. Este problema se lo puede explicar de la siguiente manera: cuando todos los píxeles son igualmente iluminados cada pixel responde en forma diferente y es debido a que cada pixel tiene diferente eficiencia cuántica. Para corregir este problema se utilizan las imágenes de cuadros planos.

Una imagen de cuadro plano normaliza la ganancia de cada píxel, al que tiene poca le sube y al que tiene alta le baja, de esta manera se homogeniza la imagen. Se toma imágenes de un cielo nublado o también se puede utilizar un cuerpo de luminosidad uniforme.

Se utilizó una caja que tiene internamente cuatro lamparas incandescentes y una pantalla traslucida que origina un campo de luz uniforme. La luminosidad de la caja se la controla con un potenciómetro.

El propósito de las imágenes de cuadros planos o flats, es compensar los problemas en el recorrido de la luz a través del telescopio hacia la cámara CCD. Superficies ópticas con polvo, reflejos en los deflectores y ópticas mal alineadas causan gradientes en la cantidad de luz que pasa al sistema. Los flats se toma de una fuente de luz uniforme, muchos de esos gradientes se pueden grabar y cuantificar de forma que su efecto puede ser eliminado como en el caso de los darks y los bias (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO, 2015).

1.4.5. Operaciones con imágenes

La razón entre la señal y el ruido o **SNR** por sus siglas en inglés, es un valor que está relacionado con la calidad de las medidas (Quijano, A., 2006).

Por ejemplo:

Si se tiene un factor **SNR** de 10, esto quiere decir que el valor de la señal es 10 veces mayor a la del ruido.

Para mejorar el valor del **SNR** se puede realizar operaciones adicionales a las imágenes obtenidas.

Suma de imágenes Mediante software especializado se logra combinar las imágenes, este proceso consiste en operar píxel a píxel para obtener el resultado deseado. Al combinar dos o más imágenes el valor del **SNR** se ve afectado de la siguiente forma:

Para la señal

$$S = S_1 + S_2 \quad (7)$$

Para el ruido

$$N^2 = N_1^2 + N_2^2 \quad (8)$$

Por tanto para la relación **SNR** será:

$$\frac{S}{N} = \frac{S_1 + S_2}{\sqrt{N_1^2 + N_2^2}} \quad (9)$$

En general para **n** imágenes se tiene:

$$\frac{S}{N} = \frac{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n}{\sqrt{N_1^2 + N_2^2 + N_3^2 + \dots + N_n^2}} \quad (10)$$

1.4.6. Software utilizado

Para el procesamiento de las imágenes se contó los siguientes programas.

- **CCD Soft**

Es un programa para el procesamiento de imágenes capturadas con el telescopio a través de la cámara CCD. En este programa se realizó el proceso de reducción de imágenes.

- **Maxim DL Pro 6**

Este programa es una herramienta para procesar, recompilar y analizar imágenes astronómicas. En este programa se usó la opción de fotometría, para encontrar el valor de magnitudes aparentes en filtros B y V para las imágenes obtenidas mediante el telescopio y capturadas por la cámara CCD, y previamente reducidas en CCD Soft.

- **The Sky Astronomy Software**

Es un software empleado para investigación y observación astronómica, fue empleado para programar el telescopio y enfocararlo hacia los cúmulos estudiados, para ello, se digitaron coordenadas ecuatoriales suministradas previamente por las estrellas patrón del catálogo AAVSO.

- **Root Data Analysis framework versión 6.10/04**

Es un programa desarrollado por el CERN el cual tiene un lenguaje orientado a objetos, escrito en C++. En principio fue diseñado para el análisis de datos en física de partículas, pero en la actualidad es usado en diversos campos de la ciencia.

- **Gnuplot Versión 5.0.7**

Es una herramienta, que a través de líneas de comando permite generar gráficos, útil para sistemas operativos Windows, linux, entre otros. Es un software de uso libre con derechos de autor sin costo en el mercado. Fue creado para trabajar con estudiantes y científicos con el fin de mejorar la visualización de las funciones matemáticas y datos de forma interactiva.

1.4.7. Catálogo AAVSO

AAVSO es la Organización Americana de Observadores de Estrellas Variables, encargada del descubrimiento, procesamiento, investigación y análisis de estrellas variables. Cuenta con la mejor base digital de datos disponible en el mundo. Se escogió este catálogo para tomar las estrellas patrón. En su página web se busca el área del cielo de interés a trabajar, esta página muestra una serie de estrellas patrón en la zona de interés. Se extrae sus coordenadas ecuatoriales y su magnitud en filtros V y B, y la diferencia de B-V con tres cifras decimales, lo que convierte a este catálogo, en una herramienta potente para la fotometría.

Por ejemplo realizando una búsqueda para las coordenadas ecuatoriales Ascensión recta 5 : 37 : 49,16 y Declinación -6 : 25 : 52,02, usando las opciones de Fotometría y CCD.

Variable Star Plotter

[VSP Help Guide](#) [Request a Sequence](#) [Report chart errors](#) [Standard field charts](#)

PLOT A QUICK CHART

WHAT IS THE NAME, DESIGNATION OR AUID OF THE OBJECT?

Required if no coordinates are provided below

RIGHT ASCENSION	DECLINATION
<input type="text" value="5:37:49.16"/>	<input type="text" value="-6:25:52.02"/>
<small>Allowed Formats: HH:MM:SS, HH MM SS, DDD.XXXXX. Required if no name is given above</small>	<small>Allowed Formats: ±DD:MM:SS, ±DD MM SS, ±DD.XXXXX. Required if no name is given above</small>

CHOOSE A PREDEFINED CHART SCALE

Select one...
A is larger, slower; G is smaller, faster

CHOOSE A CHART ORIENTATION

Visual Reversed CCD

PLOT A FINDER CHART OR A TABLE OF FIELD PHOTOMETRY? *

Chart Photometry


CHART ID


A Chart ID will allow you to reproduce prior charts. Overrides all other fields in this form.

Figura 15: Captura de pantalla del Catálogo AAVSO con un ejemplo de coordenadas ecuatoriales.

En las opciones avanzadas solo se modificó el campo de visión, la magnitud límite y la resolución.

ADVANCED OPTIONS

FIELD OF VIEW
 
In Arcminutes. Must be between 0' and 1200'

MAGNITUDE LIMIT
 
Stars fainter than this magnitude will not be displayed



RESOLUTION
 
Resolution in dpi to render the chart (default 150)

Figura 16: Captura de pantalla del Catálogo AAVSO para un ejemplo con las opciones avanzadas. (Fuente: Esta investigación)



Home / VSP / Table

Variable Star Plotter

[Plot Another Chart](#) [Star Chart for this Table](#)

Field photometry from the AAVSO Variable Star Database

Data includes all comparison stars within 0.15° of RA: **05:37:49.19 [84.4549583333°]** & Dec: **-06:25:52.1 [-6.43113888889°]**

Report this sequence as **X24469CL** in the chart field of your observation report.

AUID	RA	Dec	Label	V	B-V	Comments
000-BBJ-790	05:38:08.11 [84.53379059°]	-06:25:42.7 [-6.42852783°]	98	9.766 (0.013) ¹⁷	0.128 (0.056)	
000-BBJ-775	05:37:49.35 [84.45562744°]	-06:28:35.4 [-6.47650003°]	99	9.872 (0.045) ¹	0.116 (0.083)	
000-BBJ-770	05:37:41.45 [84.4227066°]	-06:33:57.5 [-6.56597185°]	105	10.504 (0.052) ²⁹	0.375 (0.147)	
000-BBJ-774	05:37:49.19 [84.45495605°]	-06:25:52.1 [-6.43113899°]	109	10.884 (0.043) ²⁹	0.376 (0.142)	

- AUID** is the AAVSO Unique Identifier for the star. When reporting a problem, please include this AUID.
- Coordinates are in J2000 sexagesimal format, followed by decimal degrees
- [Search for variable stars in this field via VSX](#)
- Label** is that star's label when plotted on an AAVSO chart, usually (but not always) its V magnitude rounded to the nearest tenth.

Figura 17: Captura de pantalla del Catálogo AAVSO para los datos ingresados en las figuras 15 y 16 (Fuente: Esta investigación)

1.5. Obtención de parámetros físicos

Anteriormente se mencionó que la escala ideada por Hiparco constaba de una división de las estrellas observadas en seis grupos, siendo seis la categoría de estrellas de menos brillo y cero la de más brillo.

Teniendo en cuenta que entre una estrella típica de intensidad I_1 y otra de intensidad I_6 se tiene un factor de 100. Entonces, se encuentra el *factor de Pogson* de la siguiente forma: (Pogson, 1856)

Se asigna a la variable K al factor existente entre dos intensidades consecutivas $I_1 = kI_2$

Para cada una de las seis intensidades en la escala de Hiparco se tendría:

$$I_2 = kI_3, I_3 = kI_4, I_4 = kI_5, I_5 = kI_6 \quad (11)$$

Realizando los reemplazos sucesivos se obtendría para I_1 :

$$I_1 = k^5 I_6 = 100 I_6 \quad (12)$$

Por tanto se obtiene el valor del *Factor de Pogson*

$$k = (100)^{(1/5)} = 2,51 \quad (13)$$

La relación entre dos intensidades consecutivas queda expresada como:

$$I_1 = kI_2 = (100)^{(1/5)} I_2 = 2,51 I_2 \quad (14)$$

En general para dos magnitudes no consecutivas se expresaría de la siguiente forma:

$$\frac{I_{m1}}{I_{m2}} = 2,51^{(m2-m1)} \quad (15)$$

Además, la intensidad se puede expresar como potencia emitida por unidad de área (ESA/ESO, 2012). Por tanto, la luminosidad queda expresada como

$$\frac{L_{m1}}{L_{m2}} = \frac{P_{m1}/S}{P_{m2}/S} = \frac{P_{m1}/t}{P_{m2}/t} = \frac{I_{m1}}{I_{m2}} = 2,51^{(m2-m1)} \quad (16)$$

Donde L es la luminosidad, P es la potencia emitida, S es la unidad de área, t es la unidad de tiempo.

1.5.1. Temperatura en función del índice de color

La temperatura de las estrellas y su color están relacionados. Se sabe que el color rojo indica que la estrella es más fría que una de color azul. En el año 2012 J. F. Ballesteros realizó un estudio en el que al considerar las estrellas como cuerpos negros y usando la ecuación de Planck, desarrolla una ecuación en la que relaciona la Temperatura en función del índice de color. Las unidades de la temperatura vienen dadas en Kelvin (Ballesteros, 2012).

$$T = 4600 \left(\frac{1}{0,92(B - V) + 1,7} + \frac{1}{0,92(B - V) + 0,62} \right) \quad (17)$$

Se puede observar que esta función tiene dos asíntotas verticales en los puntos $(B - V) = -85/46 \approx -1,848$ y $(B - V) = -31/46 \approx -0,674$.

1.5.2. Radio de una estrella en función de la temperatura y luminosidad

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la energía por unidad de superficie emitida por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura.

$$E = \sigma T^4$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann. $\sigma = 5,6704 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$

Suponiendo que una estrella emite radiación como un cuerpo negro, se puede obtener una expresión para la luminosidad (energía por unidad de tiempo) en términos de la temperatura:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (18)$$

Donde R es el radio de la estrella y T su temperatura.

La formula 18 se puede usar para comparar el radio de una estrella de la secuencia principal en función del radio del Sol.

$$\frac{R}{R_s} = \left(\frac{T_s}{T} \right)^2 \sqrt{\frac{L}{L_s}} \quad (19)$$

Donde R_s , T_s y L_s son el radio, temperatura y luminosidad del Sol respectivamente (Survey, 2019) .

Anteriormente se mencionó que se podía obtener la luminosidad en términos de la magnitud aparente y la temperatura en términos del índice de color. De este modo se puede encontrar la razón entre el radio de una estrella y el del Sol con base a los parámetros medidos en el presente trabajo.

Procesamiento de las imágenes

2.1. Ruido Bias, ruido térmico y corrección de la eficiencia cuántica de los píxeles mediante cuadros planos

Mediante el telescopio se realizaron 10 tomas de datos divididas en 4 secciones. En cada una de ellas se tomó de 15 a 20 imágenes con filtro **B** y **V**, con tiempo de exposición de 30 segundos y una temperatura promedio de -20°C . Las imágenes fueron tomadas entre las 18:40 LT y 21:00 LT, y valores de ángulo zenital menores a 30° . En cada sección se tomaron un promedio de 35 imágenes FLATS para cada filtro, con tiempo de exposición adecuado para obtener un buen valor de SNR.

Se inició la preparación de los instrumentos alrededor de 30 minutos antes de la toma de datos, donde se redujo gradualmente la temperatura del sensor CCD hasta llegar a un valor promedio de -20°C . Además, se eligieron los filtros con los cuales se va a trabajar, en este caso azul (**B**) y visible (**V**).

En el momento de tener la condiciones atmosféricas óptimas, con el programa The Sky, se programan las coordenadas ecuatoriales obtenidas desde el catálogo AAVSO para la respectiva estrella patrón de la zona a trabajar y mediante el programa CCD Soft se inicia la captura de imágenes. Se inicia tomando una imagen llamada cuadro oscuro. Se configuró el programa para que automáticamente a cada imagen tomada se le reste la imagen de cuadros oscuros. Todas las imágenes obtenidas se guardan en formato *FIT*.

En el software CCD soft, se realiza el proceso de reducción de imágenes con el propósito de elimi-

nar ruidos provocados por la no homogeneidad de todos los píxeles en el sensor CCD. El proceso consiste en restar a cada imagen tomada el conjunto de imágenes FLATS.

2.2. Suma de imágenes, relación señal y ruido (SNR)

Con el objetivo de tener imágenes que tengan un buen nivel de calidad, se procede a sumar las fotografías (reducidas en el programa CCD soft) en el programa denominado Maxim DI. Este proceso consiste en sumar píxel a píxel las imágenes seleccionadas. Se realiza este procedimiento con el fin de aumentar el factor SNR sin alterar la información de las fotografías. El factor SNR cobra importancia en el siguiente paso, donde se realiza la fotometría teniendo en cuenta que dicho valor debe ser superior a 10, para obtener precisión en varias cifras decimales.

En el programa Maxim DI, se elige la opción fotometría, se cargan las imágenes ya sumadas de cada zona para cada filtro. Luego, se selecciona la mejor imagen en filtro azul (B), es decir, la que presente menor ruido. Esto debido a que como es de esperarse en este filtro se van a observar menos estrellas con relación al filtro visible (V).

Fotometría

3.3. Estrellas Patrón

Del catálogo AAVSO se toma los valores de las magnitudes B y V de la estrella patrón que se va a trabajar, y ellos se introducen en el programa para realizar una calibración adecuada para cada zona a trabajar.

Para el presente trabajo se usaron cuatro estrellas patrón para cada cúmulo.

Tabla 1: Estrellas patrón tomadas del catálogo AAVSO para el cúmulo de el Trapecio de Orión.

Estrellas para el Trapecio de Orión							
<i>Nombre</i>	<i>RA</i>	<i>DEC</i>	<i>V</i>	$E_r V$	$B - V$	$E_r(B - V)$	<i>Fuente</i>
GSC 4778:1082*	5:36:37.82	-6:36:30.37	10,116	0,048	0,204	0,090	Tycho-2
GSC 4774:873*	5:36:38	-5:28:35	10,580	0,023	0,721	0,050	BSM NM
GSC 4774:863	5:35:42.8	-5:20:13	11,197	0,016	0,938	0,028	APASS
GSC 4779:413	5:37:49.16	-6:25:52.02	10,884	0,043	0,376	0,142	APASS

(*) Indica que para la misma estrella patrón se realizó dos tomas de datos (Zona 1 y Zona 2)

Tabla 2: Estrellas patrón tomadas del catálogo AAVSO para el cúmulo de las Híades de Tauro.

Estrellas para las Híades de Tauro							
<i>Nombre</i>	<i>RA</i>	<i>DEC</i>	<i>V</i>	<i>E_rV</i>	<i>B - V</i>	<i>E_r(B - V)</i>	<i>Fuente</i>
GSC1265:423	4:25:45.95	16:34:40.41	10,108	0,290	0,734	0,045	CCD Henden
GSC1265:16	4:27:37.12	16:01:46.71	10,492	0,081	0,796	0,145	SRO
GSC1265:245	4:27:17.54	16:30:40.45	10,157	0,010	0,671	0,023	BSM NM
GSC1265:861	4:26:27.2	16:29:43	10,420	0,014	0,692	0,024	APASS

3.4. Calibración y obtención de datos procesados

El valor final del SNR depende fundamentalmente de los radios de los anillos seleccionados de la siguiente forma: El anillo más pequeño en el que se encierra completamente la estrella. El segundo anillo tiene la función de crear una separación entre el anillo más interno y el más externo para evitar problemas con estrellas vecinas. Y el anillo externo tiene la funcionalidad de medir las cuentas producidas por el cielo o background.

El programa Maxim DL pro 6, permite trabajar simultáneamente con las imágenes en varios filtros. Para el caso trabajado se realizó la marcación en el filtro B y automáticamente el programa lo hace en el filtro V.

Debido a que el valor del SNR se reduce drásticamente cuando el anillo pequeño es mucho mayor al tamaño de la estrella observada, es necesario realizar una segunda calibración. Para ello se toma como magnitud de la nueva estrella patrón el promedio de la magnitud de la estrella de menor dimensión de la primera calibración. Además, se reduce los tamaños de los anillos para obtener un SNR de buena calidad sin afectar las medidas de las magnitudes.

En la imagen 18 se observa una muestra de la fotometría que se realizó con base en la estrella patrón GSC 1265:423 del Trapecio de Orión, se observa que fue necesario realizar dos calibraciones.

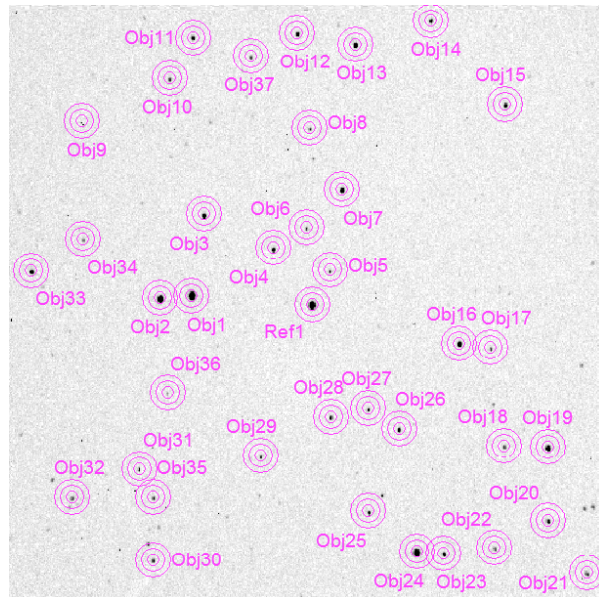


Figura 18: Fotometría empleando el software Maxim DL para la toma con estrella GSC 1265:423 del Trapecio de Orión. Primera calibración. (Fuente: Esta investigación.)

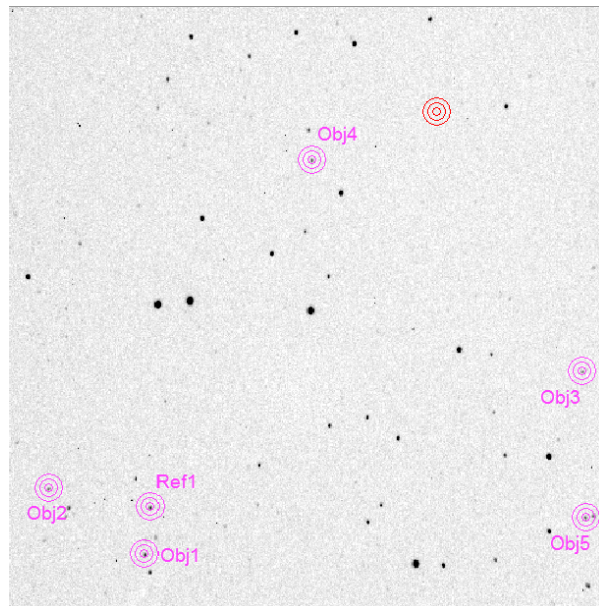


Figura 19: Fotometría empleando el software Maxim DL para la toma con estrella GSC 1265:423 del Trapecio de Orión. Segunda calibración. (Fuente: Esta investigación.)

Al terminar de seleccionar adecuadamente cada estrella de las imágenes se procede a exportar un archivo .csv que contiene la siguiente información:

- Nombre de la imagen
- Airmass
- Nombre asignado para identificar la estrella
- Coordenada X de la estrella
- Coordenada Y de la estrella
- Magnitud azul
- Magnitud visible
- SNR

3.5. Identificación de coordenadas y nombres de las estrellas medidas

Para realizar la identificación de las estrellas primero se abre una imagen en CCD soft, la cual es copiada y pegada en The Sky Astronomy Software. Donde con anterioridad se ha buscado la estrella patrón correspondiente a dicha imagen.

Con el mouse se selecciona cada una de las estrellas en la imagen, para obtener la información de cada una de las estrellas. Para el caso tratado se registraron tres datos importantes para nuestro trabajo: El nombre, la ascensión recta y la declinación en J2000.

3.6. Procesamiento de los datos exportados

Todos los datos obtenidos mediante los procesos anteriores fueron organizados en tablas de Excel para continuar con su análisis.

Lo primero que se verifica es el valor del airmass. Se tendrá un dato de **airmass** para cada imagen, con lo que se realiza un promedio para cada una de las tomas de imágenes. Posteriormente, empleando la ecuación (6) se obtiene el **ángulo zenital** en grados para cada estrella patrón.

El valor de la magnitud en filtro **B** y **V** se obtiene promediando los respectivos valores de cada imagen, con lo que se obtiene para cada estrella una magnitud **B** y **V**. Además, se realiza el cálculo de la desviación estándar con lo que se obtiene el error para cada medida.

De forma similar se trabaja con el **SNR** para adquirir el respectivo valor de **SNR** para cada estrella.

Para el cúmulo de el Trapecio se tomó imágenes de dos zonas para las estrellas patrón **GSC 4778:1082** y **GSC 4774:873**, esto debido a la presencia de muchas estrellas. Estas zonas se trabajaron de forma independiente como si fueran estrellas patrón distintas, con lo que se obtuvo para algunas de estas estrellas el doble de información. Finalmente se promedió dicha información y los resultados fueron anexados a la zona 1 de cada estrella patrón correspondiente. Estas estrellas se denotan con un asterisco en la columna # de la tabla 1.

Tratamiento de datos

Se trabajó con los datos obtenidos mediante fotometría de los cúmulos las Híades y el Trapecio para obtener información respecto a los nombres de las estrellas, sus coordenadas ecuatoriales, magnitud aparente en los filtros **B** y **V**, índice de color, y los respectivos errores experimentales debidos a estas mediciones. Esta información ha sido condensada en las tablas y en los **diagramas H-R** para cada cúmulo trabajado.

La particularidad de trabajar con cúmulos estelares radica principalmente en que todas las estrellas de cada cúmulo se encuentran aproximadamente a la misma distancia de la tierra. Por tanto, la diferencia entre la **magnitud aparente** y la **magnitud absoluta** es una constante llamada **módulo de distancia**.

Para el caso de las Híades la distancia a la tierra es 47pc de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001) y para el Trapecio es 412pc Chandra X-ray Observatory Center (2019).

Remplazando estos valores en la ecuación 3 se obtiene:

- Módulo de distancia de las Híades = $5 - 5 \log(47) \approx -3,360$
- Módulo de distancia del Trapecio = $5 - 5 \log(412) \approx -8,074$

Por otro lado, es posible encontrar la temperatura superficial de cada estrella remplazando el índice de color en la ecuación 17.

Teniendo en cuenta la información suministrada por la XXIX asamblea general de la unión astronómica internacional (Tabla 1) IAU Inter-Division A-G Working Group on Nominal Units for Stellar & Planetary Astronomy (2015) y remplazando la **magnitud absoluta** anteriormente calculada en la ecuación 16, se obtiene la razón entre la luminosidad de la estrella y la luminosidad del sol.

Finalmente, usando los datos obtenidos para **temperatura** y **luminosidad** se calcula la razón entre el radio del sol y el **radio de la estrella** (Ecuación 19).

Esta información es anexada en la tabla 3 para el cúmulo de las Híades y 3 para el cúmulo del Trapecio. Adicionalmente, también es posible realizar un diagrama H-R en términos de **magnitud absoluta** y **temperatura**, como se observa en las figuras 31 y 29.

Los valores obtenidos de airmass, para las 10 experiencias fueron bastante cercanos al valor de 1, con lo que se obtuvo ángulos zenitales menores a 4 grados (Tablas 3 y 3). Mientras que el **SNR** presenta valores muy superiores al valor mínimo aceptado de 10, lo que muestra la alta calidad de los datos, se obtuvo un promedio de 89,113 para el filtro **B** y 176,704 para el filtro **V** del cúmulo de las Híades y 350,713 para el filtro **B** y 363,415 para el filtro **V** del cúmulo del Trapecio (Tablas 1 y 1).

Las magnitudes en filtro **V** y **B** fueron medidas para cada estrella y para cada imagen. Los valores reportados corresponden al promedio y la desviación estándar (Tablas 2 y 2). Se observa que el error para cada estrella trabajada es menor al 5 %.

4.1. Tablas de airmass

Tabla 3: Valor de airmass para cada imagen del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Cálculo del ángulo zenital usando la ecuación 6.

AIRMASS PARA EL CÚMULO DEL TRAPECIO DE ORIÓN						
	Estrella patrón					
	GSC 4778:1082A	GSC 4778:1082B	GSC 4774:873Z1	GSC 4774:873-Z2	GSC 4774:863	GSC 4779:413
Imagen 1	1.040	1.060	1.029	1.069	1.218	1.113
Imagen 2	1.040	1.068	1.034	1.077	1.218	1.125
Imagen 3	1.046	1.068	1.040	1.077	1.237	1.137
Imagen 4	1.046	1.077	1.046	1.087	1.257	1.150
Imagen 5	1.053	1.086	1.053	1.097	1.257	1.165
Imagen 6	1.035	1.060	1.029	1.061	1.218	1.113
Imagen 7	1.040	1.068	1.040	1.069	1.218	1.125
Imagen 8	1.046	1.068	1.046	1.077	1.237	1.125
Imagen 9	1.053	1.077	1.053	1.087	1.257	1.125
Imagen 10	1.053	1.086	-	1.097	1.257	1.125
Promedio	1.045	1.072	1.041	1.080	1.237	1.130
Ángulo Zenital Z	1.993	2.090	1.979	2.121	3.056	2.345

Cálculo del ángulo zenital usando la ecuación 6.

Tabla 4: Valor de airmass para cada imagen del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro. Cálculo del ángulo zenital usando la ecuación 6.

AIRMASS PARA EL CÚMULO DE LAS HÍADES DE TAURO				
	Estrella patrón			
	GSC 1265:16	GSC 1265:861	GSC 1265:423	GSC 1265:245
Imagen 1	1.249	1.134	1.074	1.130
Imagen 2	1.249	1.145	1.074	1.130
Imagen 3	1.268	1.157	1.081	-
Imagen 4	1.289	1.157	1.088	-
Imagen 5	1.310	1.134	1.074	-
Imagen 6	1.333	1.145	1.081	-
Imagen 7	1.231	1.145	1.081	-
Imagen 8	1.249	1.157	1.088	-
Imagen 9	1.268	-	-	-
Imagen 10	1.289	-	-	-
Imagen 11	1.310	-	-	-
Imagen 12	1.333	-	-	-
Promedio	1.282	1.147	1.080	1.130
Ángulo Zenital Z	3.505	2.430	2.122	2.344

Cálculo del ángulo zenital usando la ecuación 6.

4.2. Localización de las estrellas consideradas

Las coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas de los cúmulos las Híades y el Trapecio se presentan en las tablas 1 y 1. A continuación se presenta esta información de forma gráfica para cada una de las estrellas patrón.

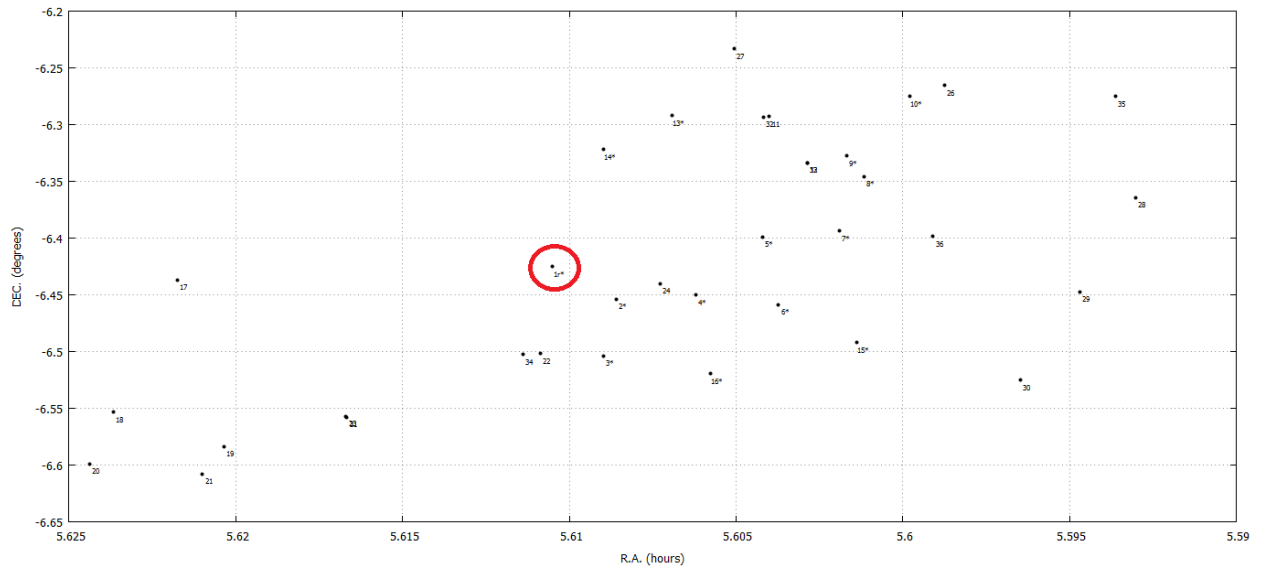


Figura 20: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4778:1082 que se ve en el círculo rojo. Fuente: esta investigación.

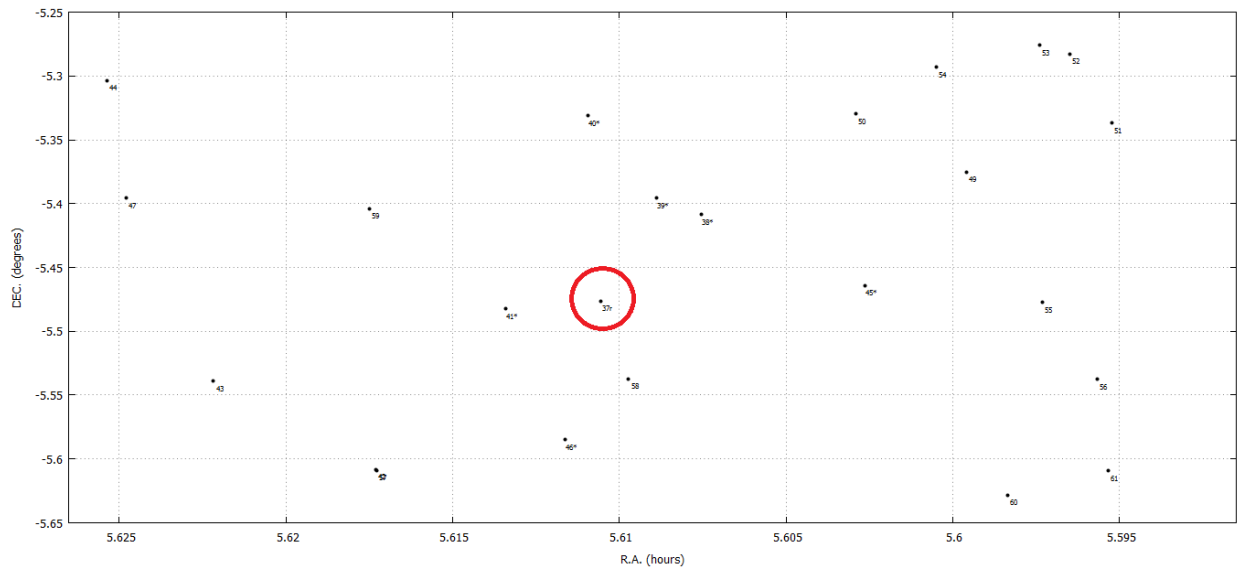


Figura 21: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4774:873 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

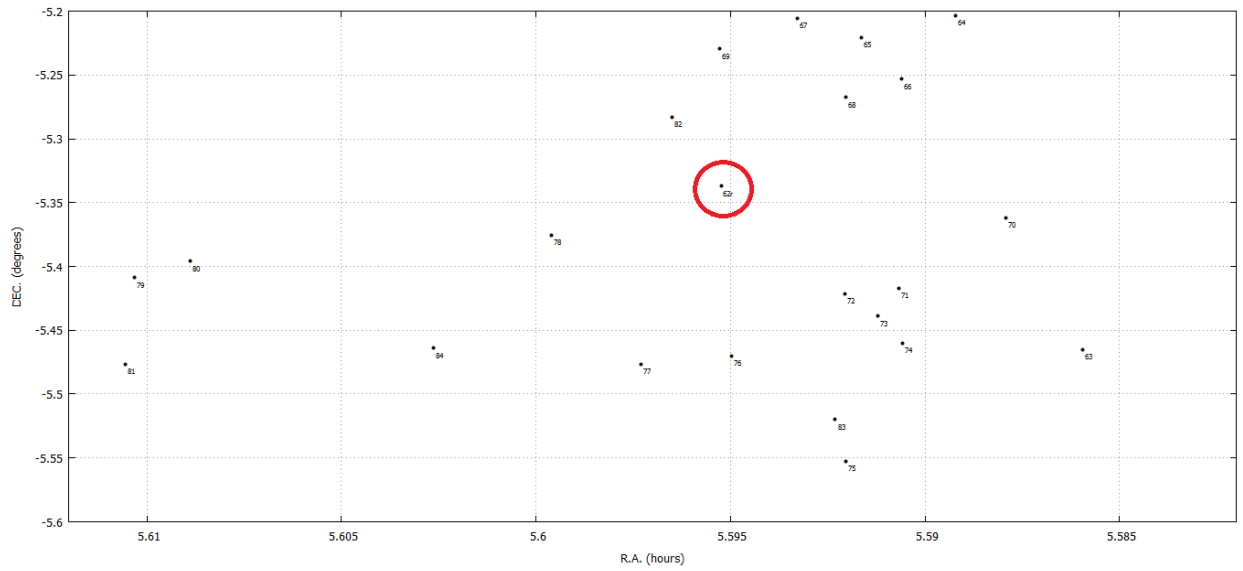


Figura 22: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4774:863 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

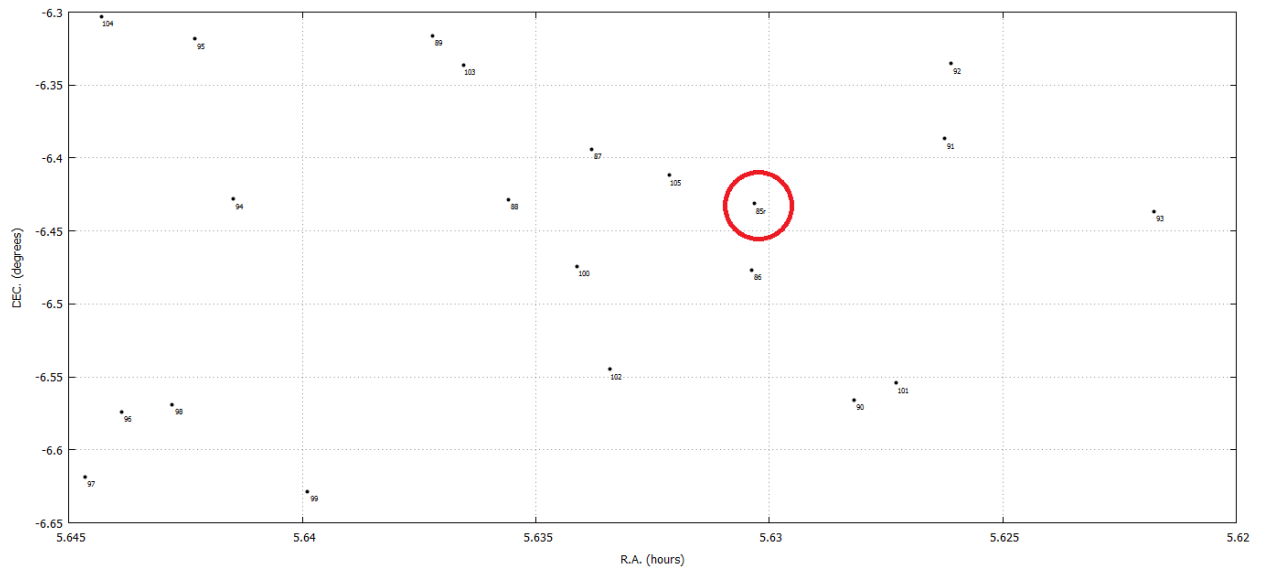


Figura 23: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 4779:413 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

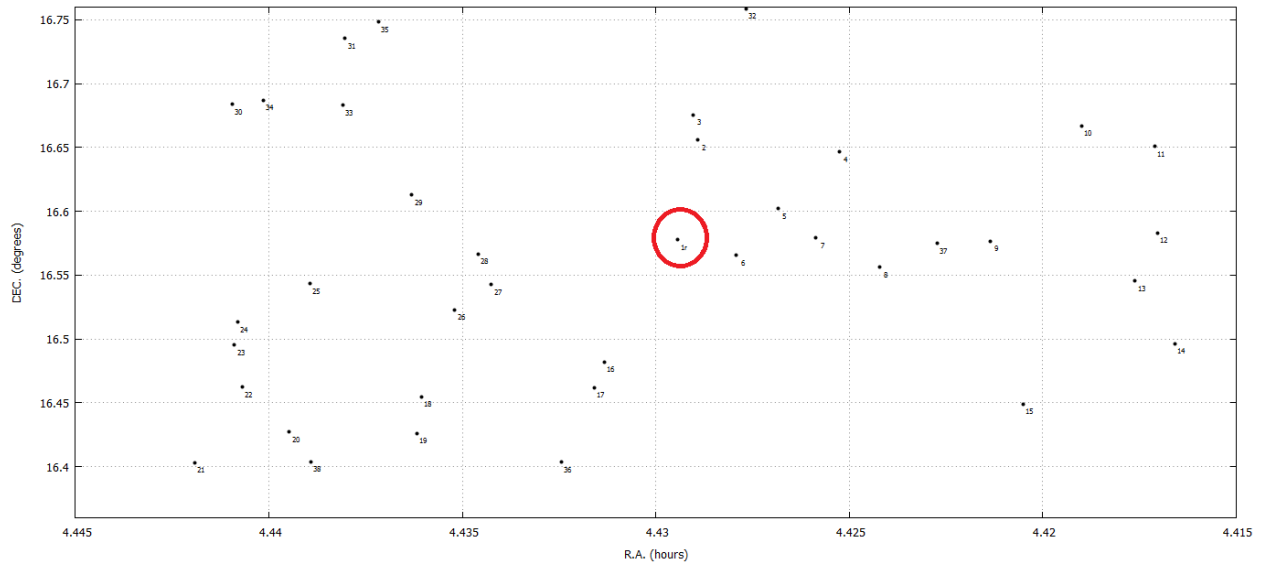


Figura 24: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1265:423 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

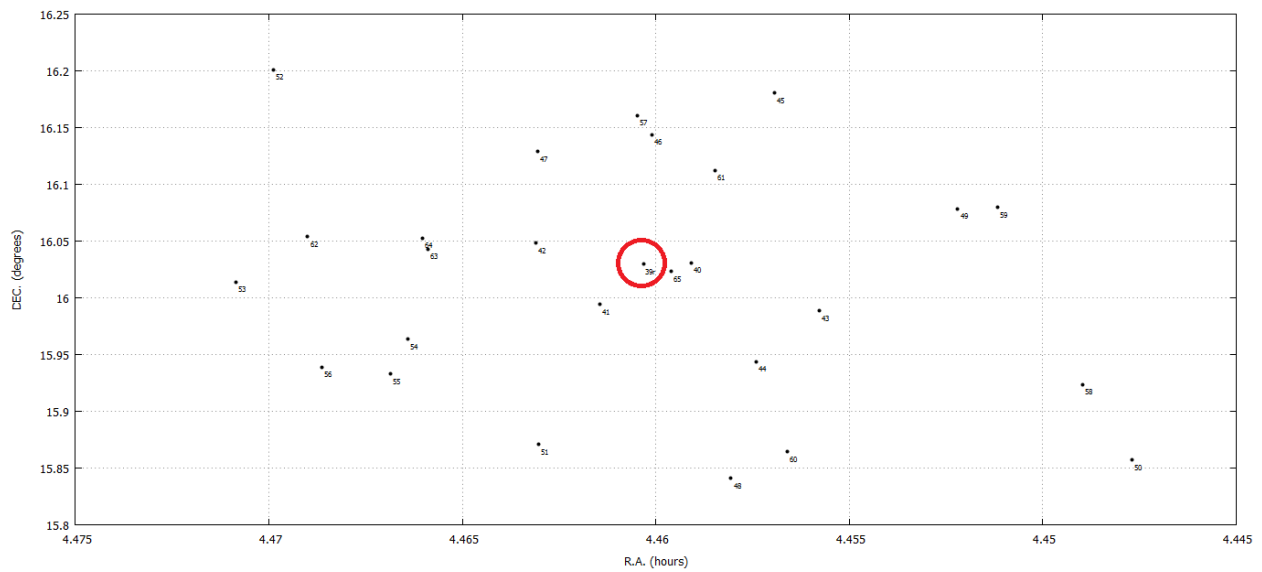


Figura 25: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1264:16 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

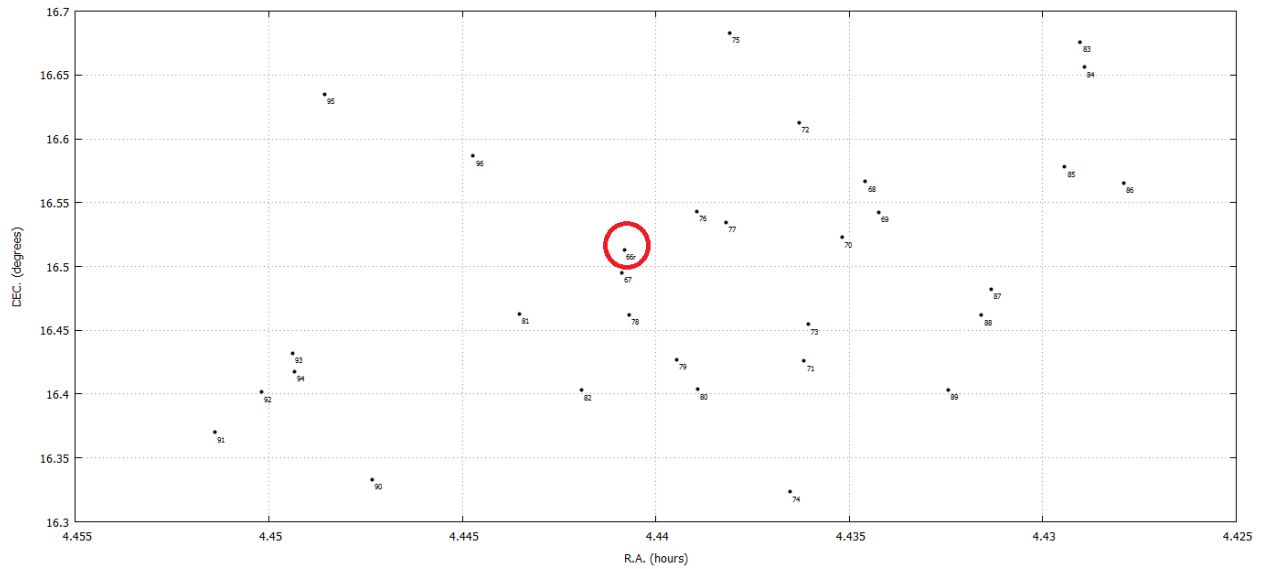


Figura 26: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1265:861 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

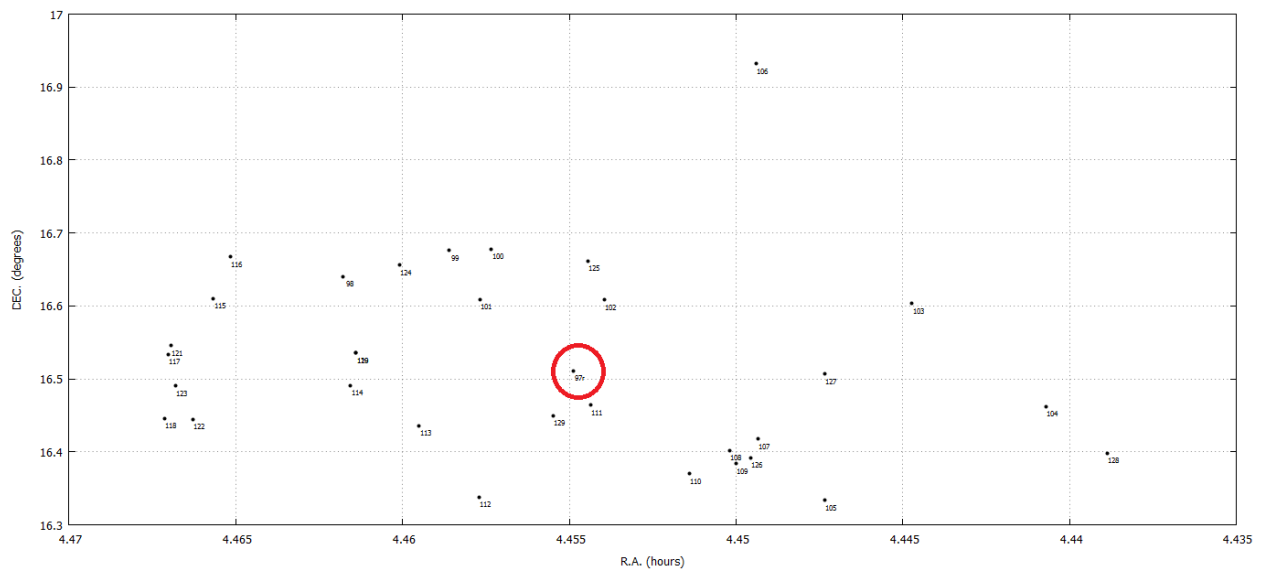


Figura 27: Coordenadas ecuatoriales J2000 para las estrellas en la imagen de la estrella patrón GSC 1265:245 que se ve en el círculo rojo. (Fuente: Esta investigación.)

Resultados

5.1. Diagramas HR por cúmulo

El diagrama HR para el cúmulo del Trapecio de la constelación Orión se obtuvo a partir de los datos del cuadro 2 y se ven en la figura 28. Se muestra la magnitud aparente en función del índice de color B-V. Los datos fueron obtenidos entre febrero y marzo de 2019 en filtro visible.

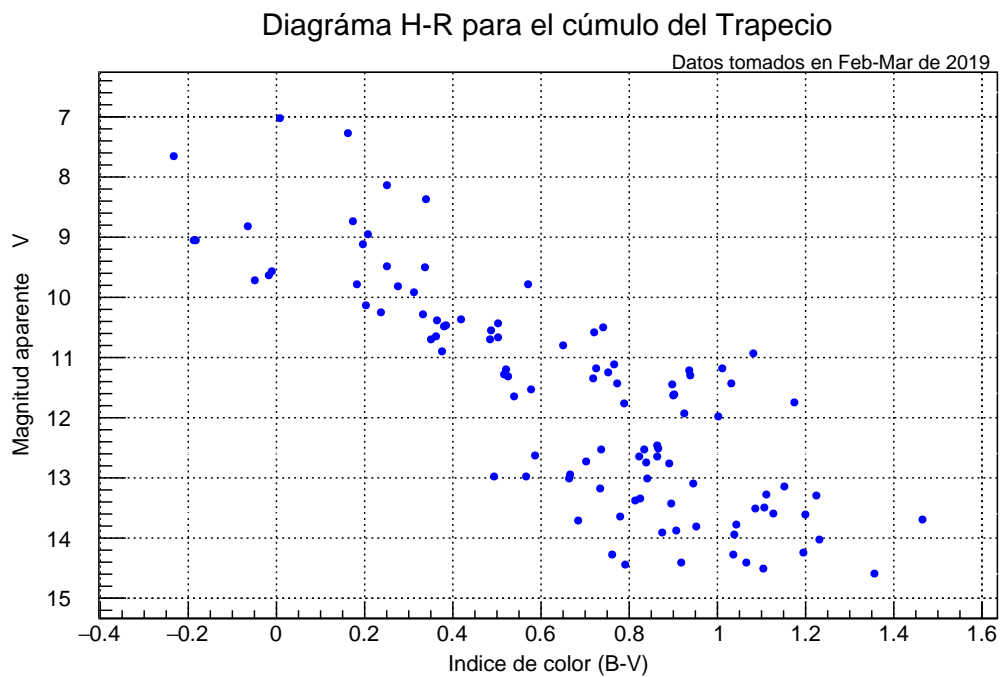


Figura 28: Diagrama HR para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019.(Fuente: Esta investigación.)

Con los datos de temperaturas del cuadro 3, para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión se realizó la figura 29, donde se ilustró la magnitud absoluta en función de la temperatura en Kelvin.

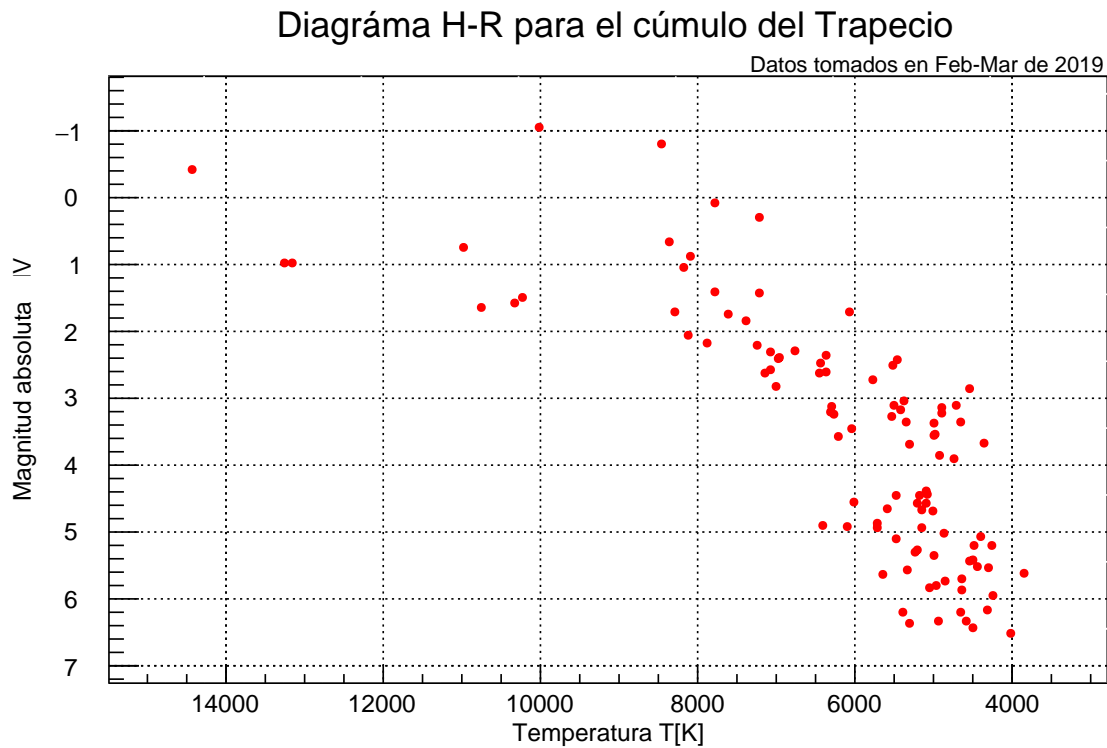


Figura 29: Diagrama HR para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Magnitud absoluta en filtro visible V respecto a la temperatura en Kelvin. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

El diagrama HR para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro se obtuvo a partir de los datos del cuadro 2 y se ven en la figura 30. Se muestra la magnitud aparente en función del índice de color B-V. Los datos fueron obtenidos entre febrero y marzo de 2019 en filtro visible.

Diagrama H-R para el cúmulo de las Híades

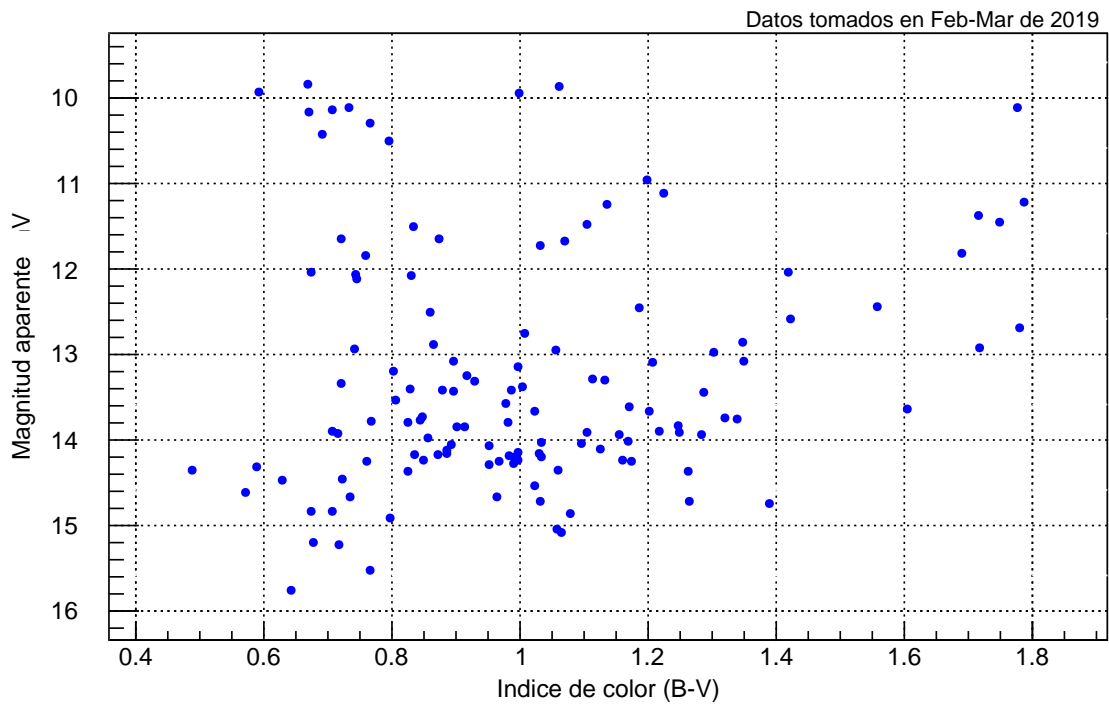


Figura 30: Diagrama HR para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro. Magnitud aparente en filtro visible V respecto del índice de color B-V. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

Con los datos de temperaturas del cuadro 3, para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro se realizó la figura 31, donde se ilustró la magnitud absoluta en función de la temperatura en Kelvin.

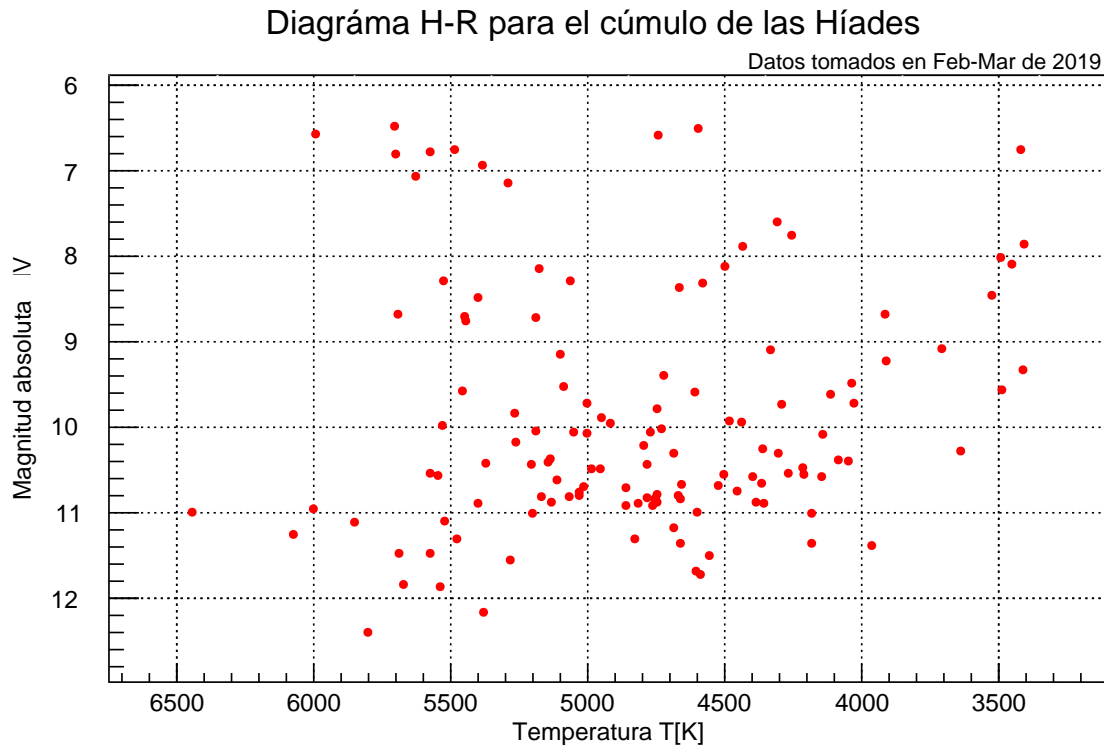


Figura 31: Diagrama HR para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro. Magnitud absoluta en filtro visible respecto del la temperatura en Kelvin. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

5.2. Gráficas de luminosidad, temperatura y radios

La comparación de radios de las estrellas con respecto al radio del sol del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión se ven en la figura 32, se resalta con una línea roja cuando la razón de radio de la estrella/radio del sol es igual a 1. Se observa de este gráfico que la mayoría de estrellas están por encima de ésta.

Radio de las estrellas del Trapecio respecto al radio del sol

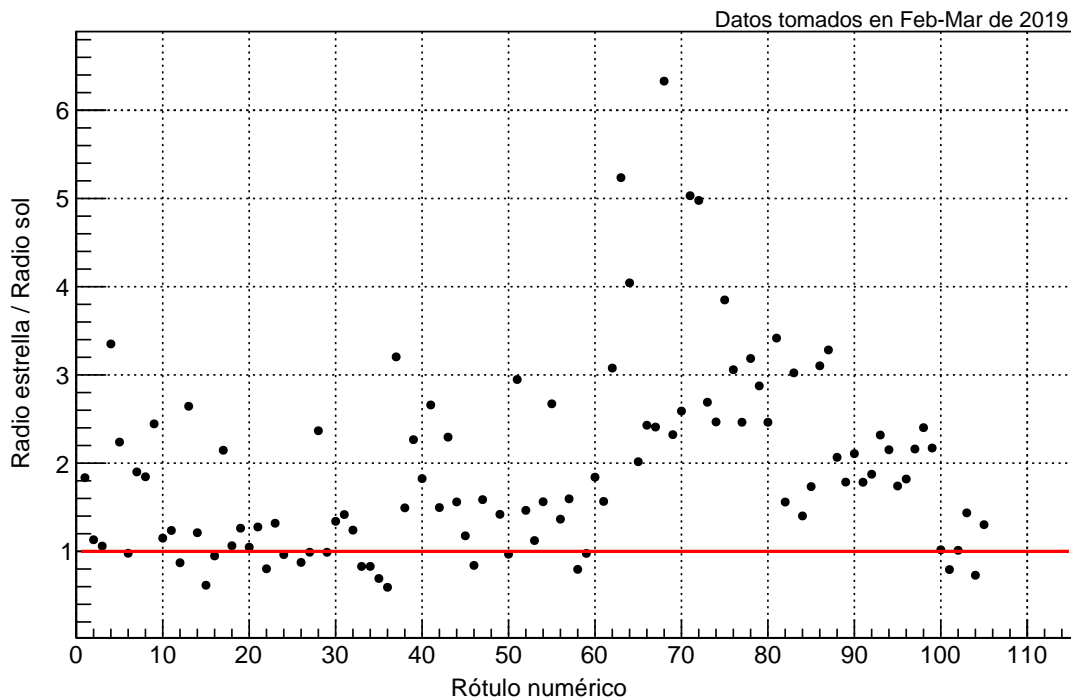


Figura 32: Comparación entre los radios encontrados para las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con el radio del sol. La recta roja representa el radio del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

Ahora en la figura 33 se muestra la comparación de los radios de las estrellas con respecto al radio del sol del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro, se resalta con una línea roja cuando la razón de radio de la estrella/radio del sol es igual a 1. Se observa que la mayoría de estrellas están por debajo de ésta.

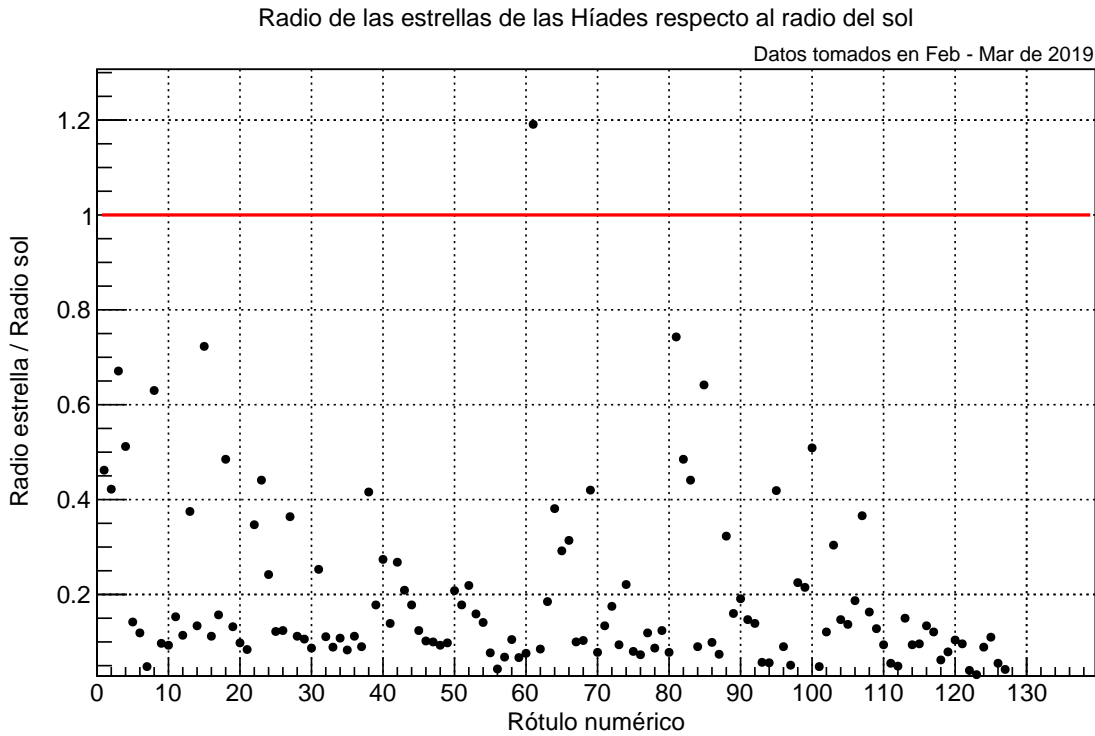


Figura 33: Comparación entre los radios encontrados para las estrellas del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro con el radio del sol. La recta roja representa el radio del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

La comparación de temperaturas de las estrellas con respecto a la temperatura del sol del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión se ven en la figura 34, se resalta con una línea roja cuando la razón de temperatura de la estrella/temperatura del sol es igual a 1.

Temperatura de las estrellas del Trapecio respecto a la temperatura del sol

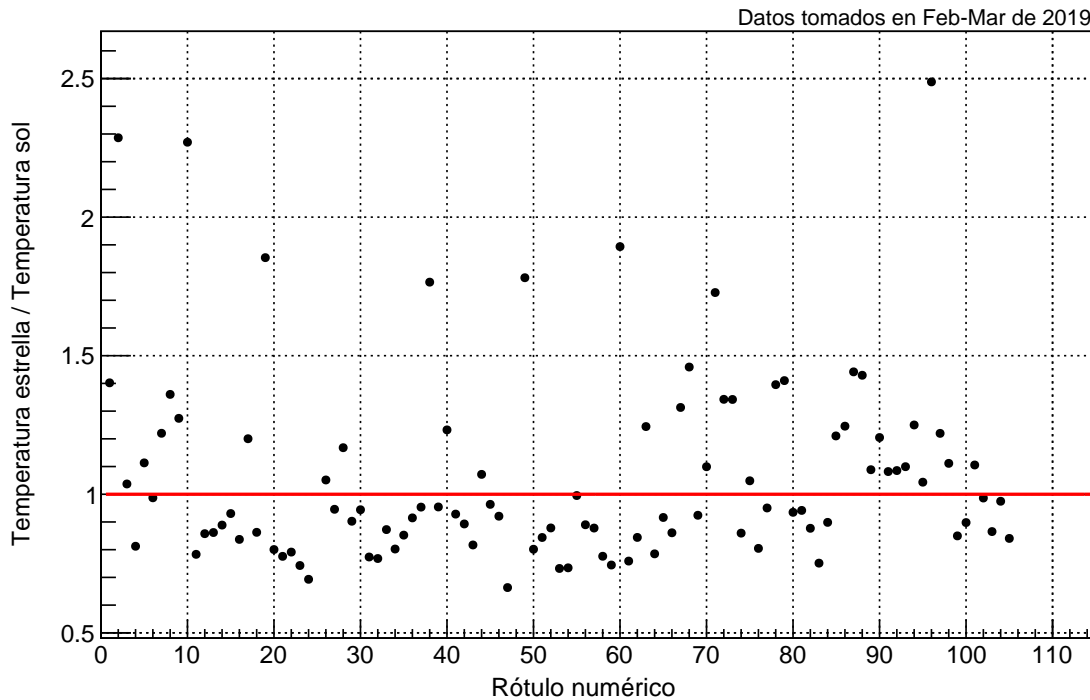


Figura 34: Comparación entre las temperaturas encontradas para las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con la temperatura del sol. La recta roja representa la temperatura del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

Luego en la figura 35 se muestra la comparación de las temperaturas de las estrellas con respecto a la temperatura del sol del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro, se resalta con una línea roja cuando la razón de temperatura de la estrella/temperatura del sol es igual a 1. Se observa que la mayoría de temperaturas de las estrellas están por debajo de la temperatura del sol.

Temperatura de las estrellas de las Híades respecto a la temperatura del sol

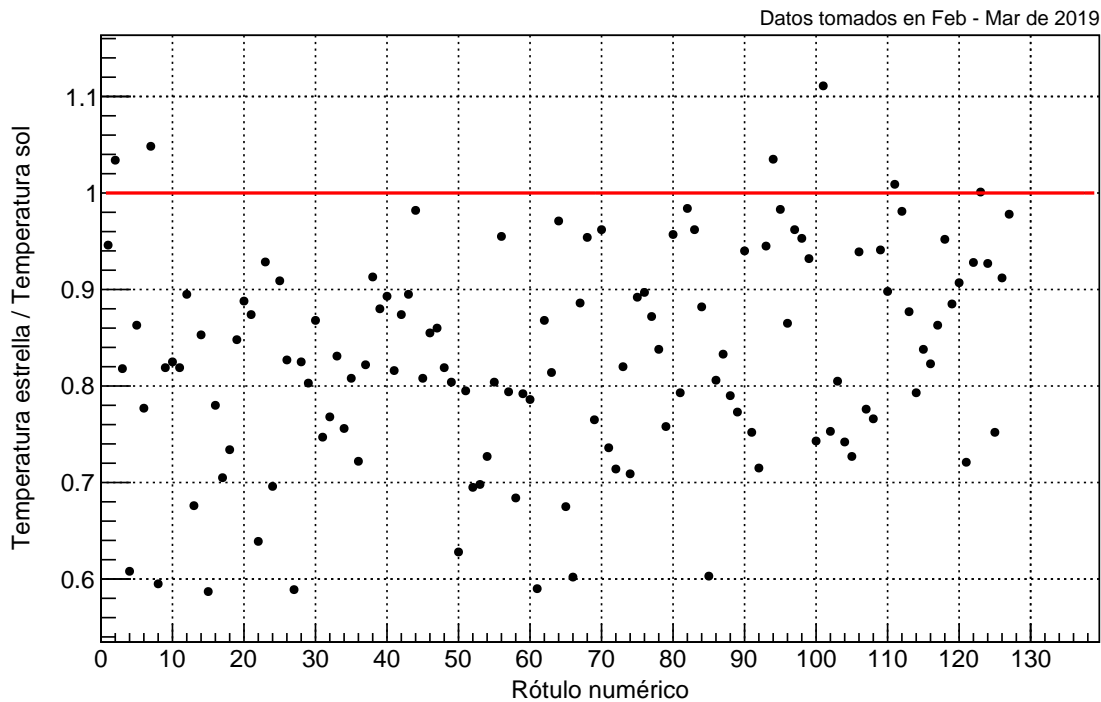


Figura 35: Comparación entre las temperaturas encontrados para las estrellas del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro con la temperatura del sol. La recta roja representa la temperatura del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

La comparación de luminosidades de las estrellas con respecto a la luminosidad del sol del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión se ven en la figura 36, se resalta con una línea roja cuando la razón de luminosidad de la estrella/luminosidad del sol es igual a 1. Para esta figura, se observa que en el eje vertical fue necesario emplear métodos de logaritmos para modificar la escala y permitir ver estrellas cuyos valores se encontraban con valores de luminosidad muy altos.

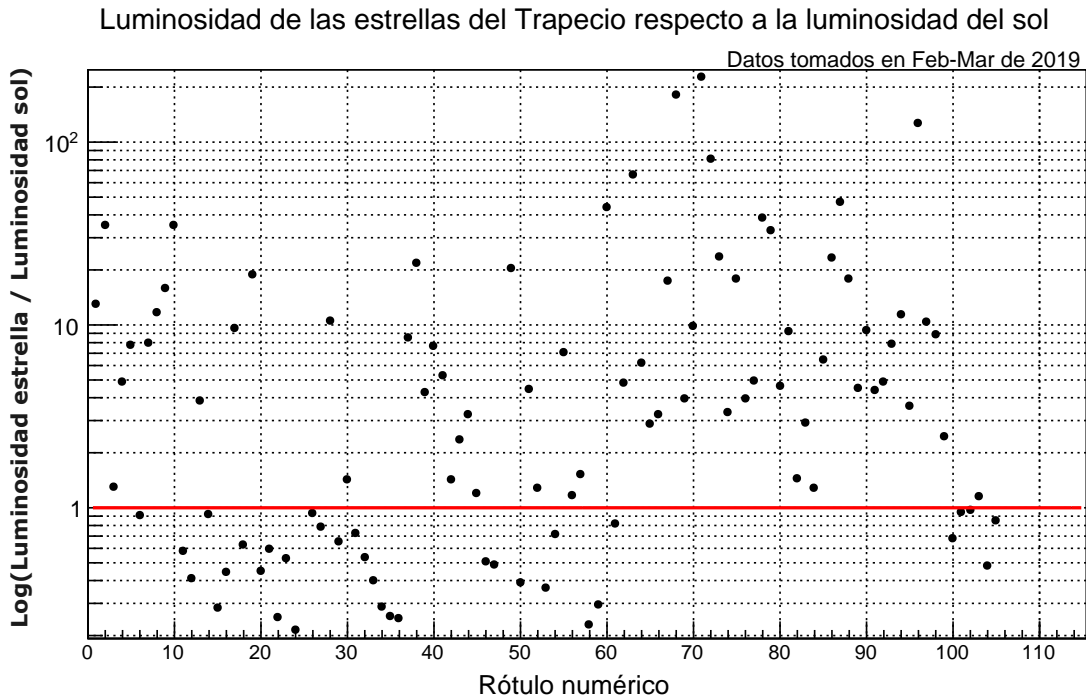


Figura 36: Comparación entre las luminosidades encontrados para las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con la luminosidad del sol. La recta roja representa la luminosidad del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

Luego en la figura 37 se muestra la comparación de las luminosidades de las estrellas con respecto a la luminosidad del sol del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro, se resalta con una línea roja cuando la razón de luminosidad de la estrella/luminosidad del sol es igual a 1. Se observa que la mayoría de luminosidades de las estrellas están por debajo de la luminosidad del sol. Para esta figura fue necesario emplear métodos de logaritmos para ajustar la escala del eje vertical, dados los valores de luminosidades estrella/sol muy inferiores.

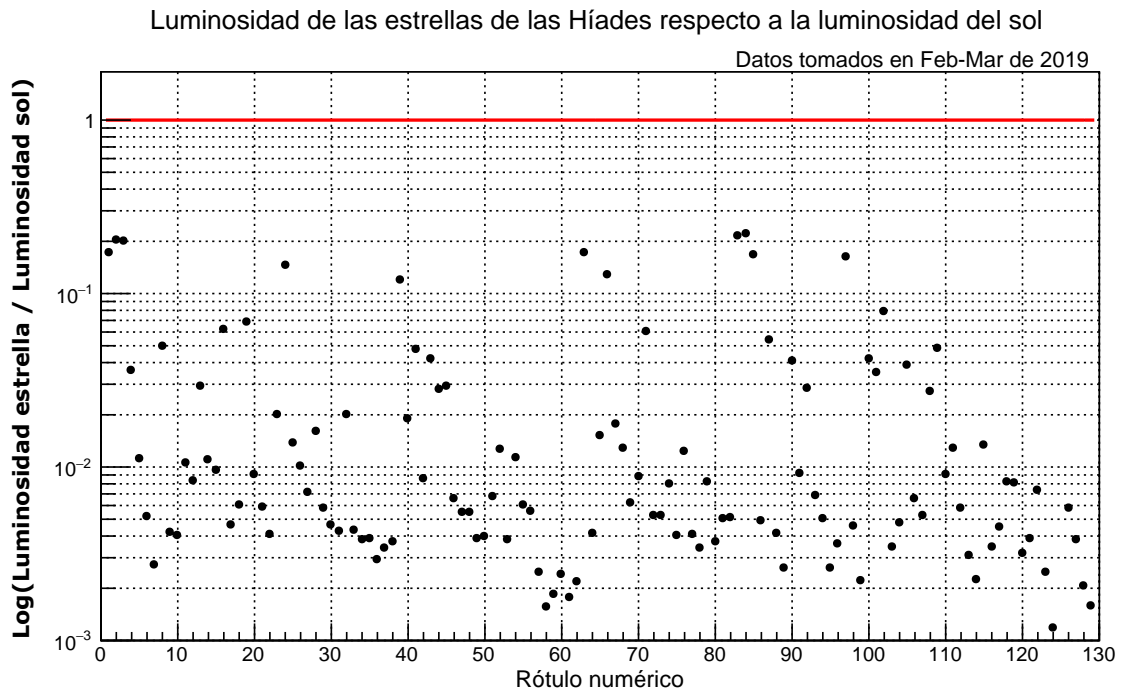


Figura 37: Comparación entre las luminosidades encontradas para las estrellas del cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro con la luminosidad del sol. La recta roja representa la luminosidad del sol. Datos tomados desde el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño en feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

5.3. Histogramas para los parámetros obtenidos

Se realizó histogramas para los parámetros **luminosidad**, **temperatura** y **radio** de cada uno de los cúmulos trabajados. Para ello se tomó como ancho de clase el rango dividido entre la raíz cuadrada del número de datos, siendo 105 para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión y 127 para el cúmulo del las Híades de la constelación de Tauro. El eje vertical de los histogramas de luminosidades se elaboró en términos del logaritmo en base 10 del número de estrellas.

El histograma de frecuencias de las razones entre luminosidades de las estrellas respecto a la luminosidad del sol para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro se ve en la figura 38, este muestra a la mayoría de estrellas en un valor de 0.002.

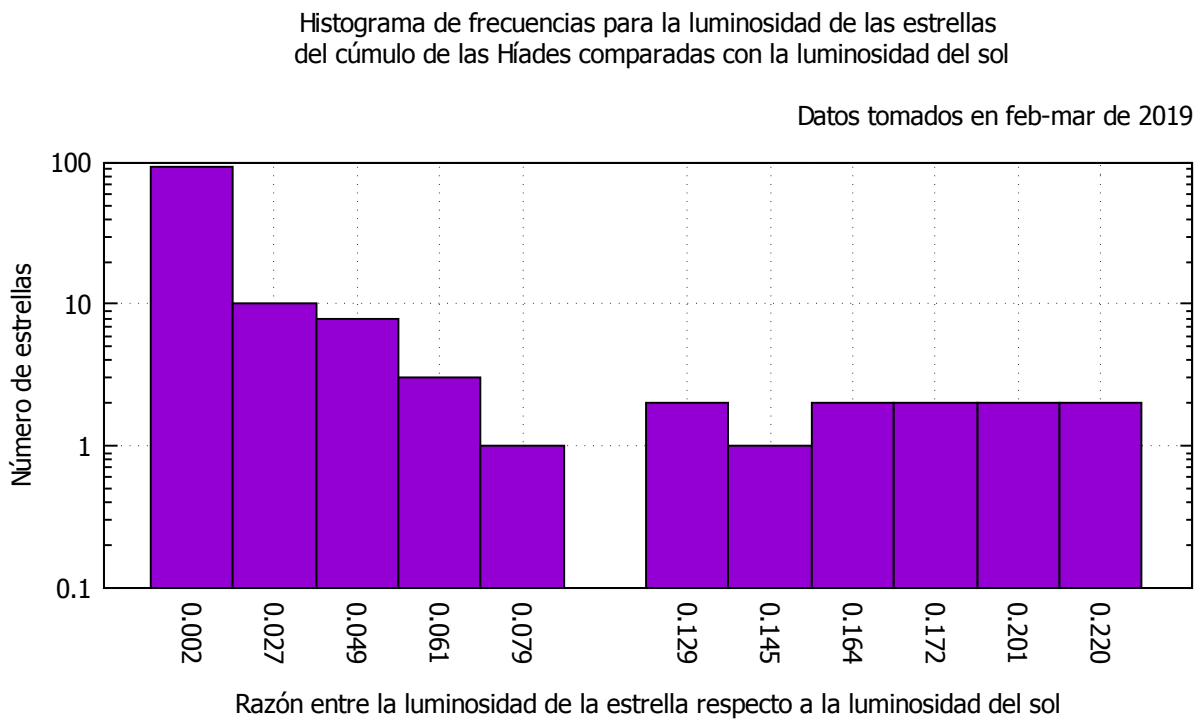


Figura 38: Histograma de frecuencias para la razón entre la luminosidad de las estrellas del cúmulo de las Híades respecto a la luminosidad del sol. El eje vertical se presenta en escala logarítmica. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

El histograma de razón entre temperatura de la estrella respecto a la temperatura del sol para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro se ve en la figura 39, se ve que la gran mayoría de estrellas se encuentra en un valor de 0.823 y valores mínimos de 0.590 y 1.111.

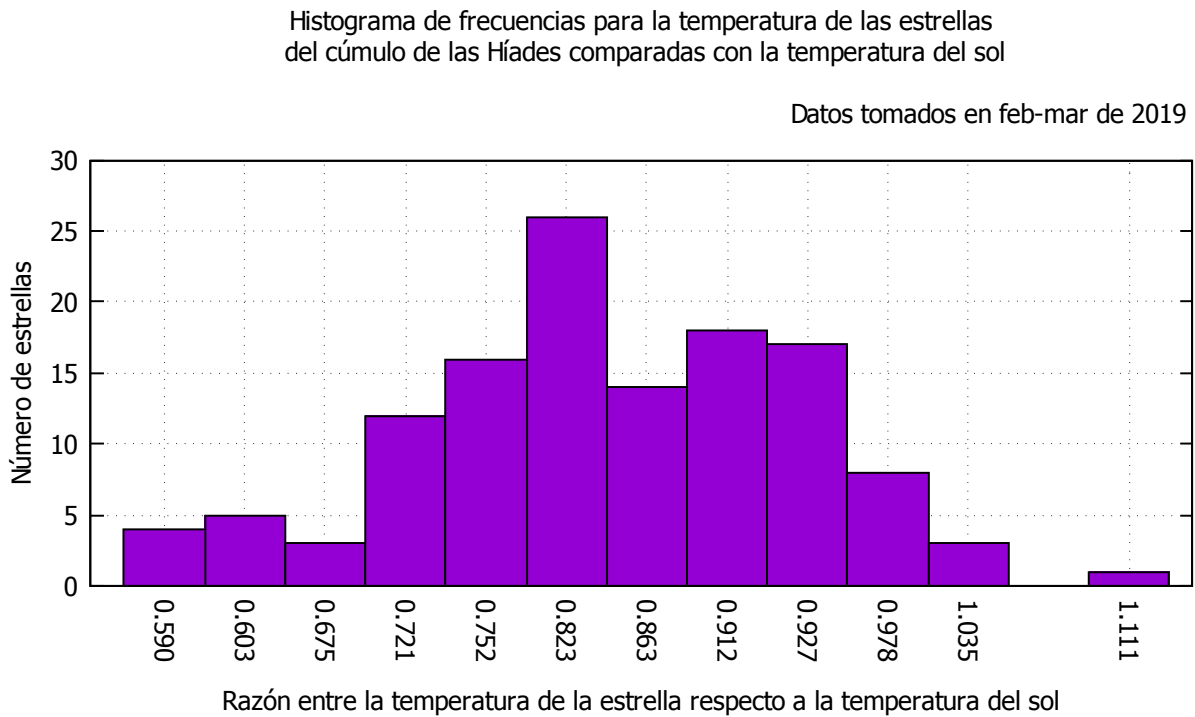


Figura 39: Histograma de frecuencias para la razón entre la temperatura de las estrellas del cúmulo de las Híades respecto a la temperatura del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

El histograma de frecuencias de las razones entre radios de las estrellas respecto al radio del sol para el cúmulo de las Híades de la constelación de Tauro se ve en la figura 40, este muestra a la mayoría de estrellas en valores de 0.042 y 0.110.

Histograma de frecuencias para el radio de las estrellas del cúmulo de las Híades comparados con el radio del sol

Datos tomados en feb-mar de 2019

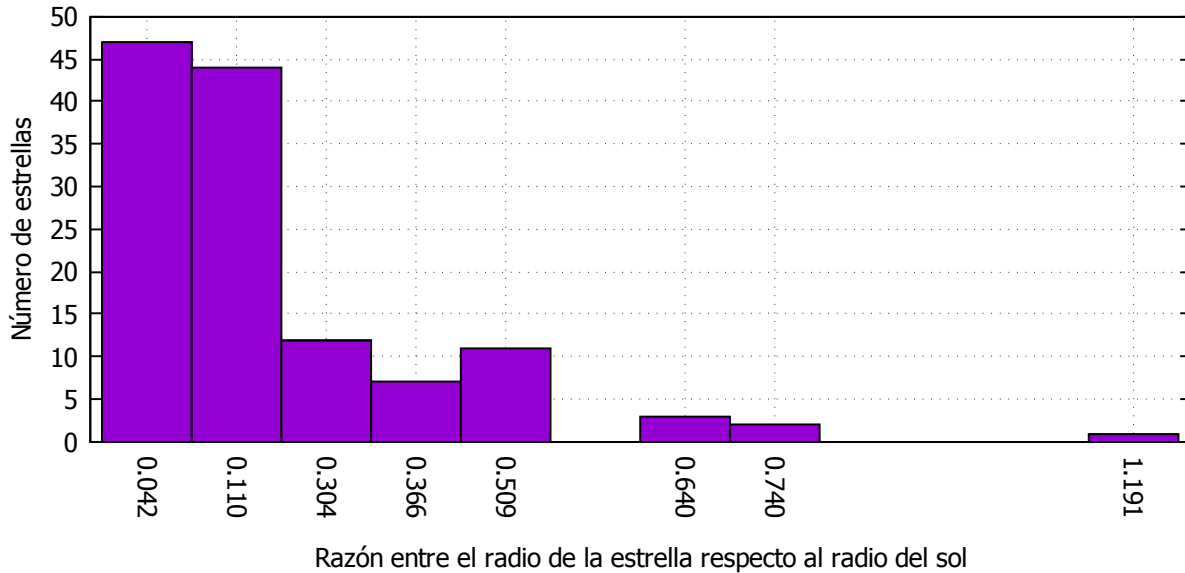


Figura 40: Histograma de frecuencias para la razón entre el radio de las estrellas del cúmulo de las Híades respecto al radio del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

El histograma de frecuencias de las razones entre las luminosidades de las estrellas respecto a la luminosidad del sol para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión se ve en la figura 41, este muestra que la mayoría de estrellas se encuentran en un valor de 0.848.

Histograma de frecuencias para la luminosidad de las estrellas del cúmulo del Trapecio comparadas con la luminosidad del sol

Datos tomados en feb-mar de 2019

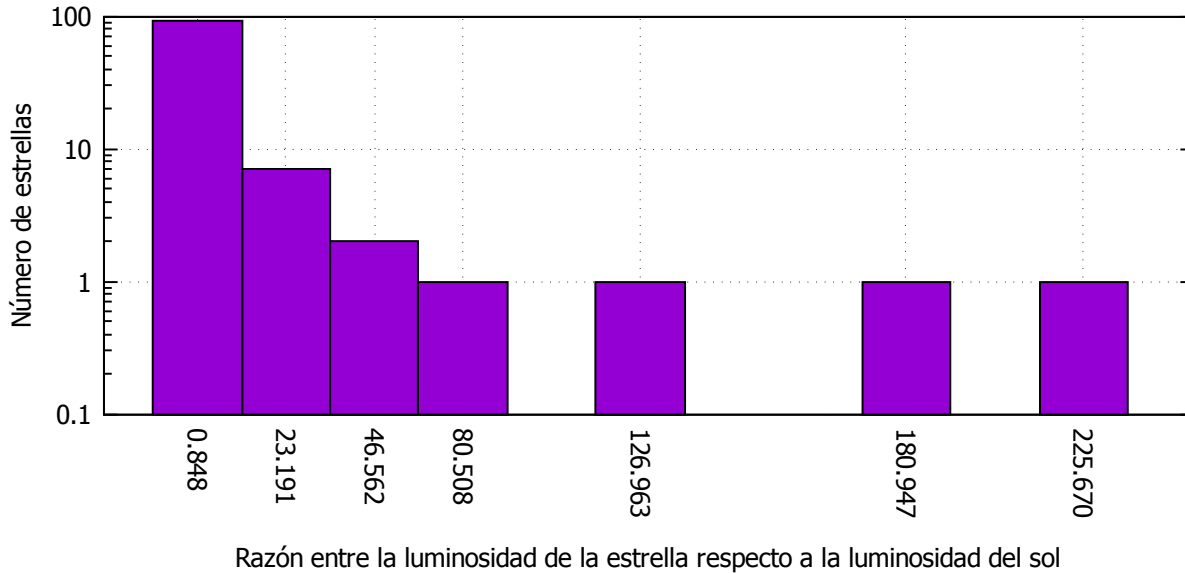


Figura 41: Histograma de frecuencias para la razón entre la luminosidad de las estrellas del cúmulo del Trapecio respecto a la luminosidad del sol. El eje vertical se presenta en escala logarítmica. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

La figura 42 muestra el histograma de frecuencias para la temperatura de las estrellas del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión con respecto a la temperatura del sol, se observa que la mayoría de estrellas se encuentran en valores entre 0.729 y 3.283.

Histograma de frecuencias para la temperatura de las estrellas del cúmulo del Trapecio comparadas con la temperatura del sol

Datos tomados en feb-mar de 2019

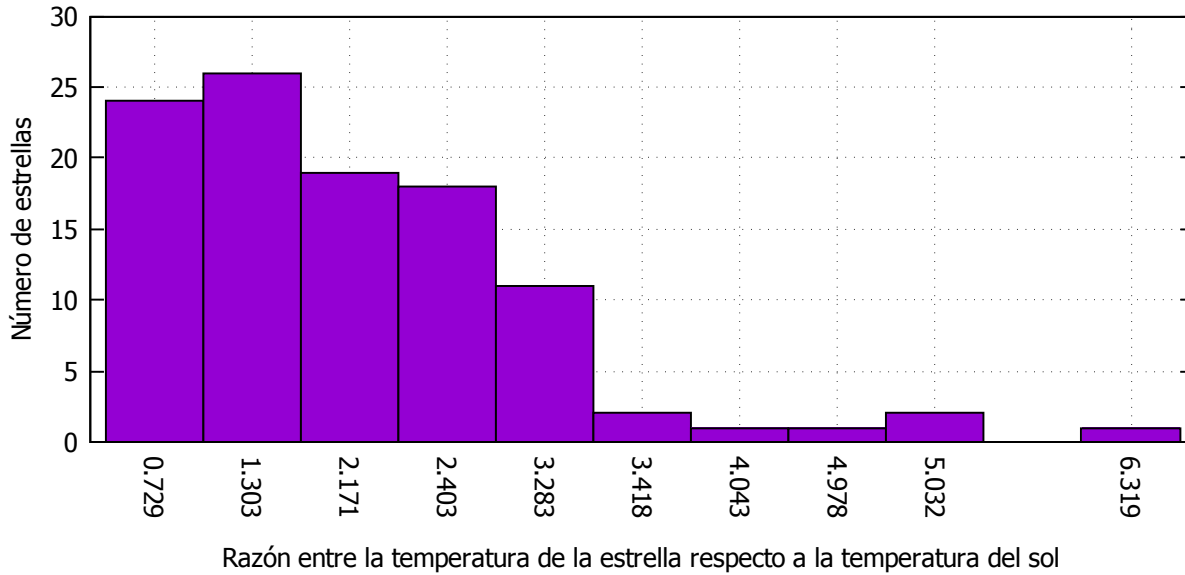


Figura 42: Histograma de frecuencias para la razón entre la temperatura de las estrellas del cúmulo del Trapecio respecto a la temperatura del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

El histograma de frecuencias de las razones entre el radio de las estrellas respecto al radio del sol para el cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión se ve en la figura 43, este muestra a la mayoría de estrellas en un valor de 0.841 con valores extremos de 0.663 y 1.894.

Histograma de frecuencias para el radio de las estrellas del cúmulo del Trapecio comparados con el radio del sol

Datos tomados en feb-mar de 2019

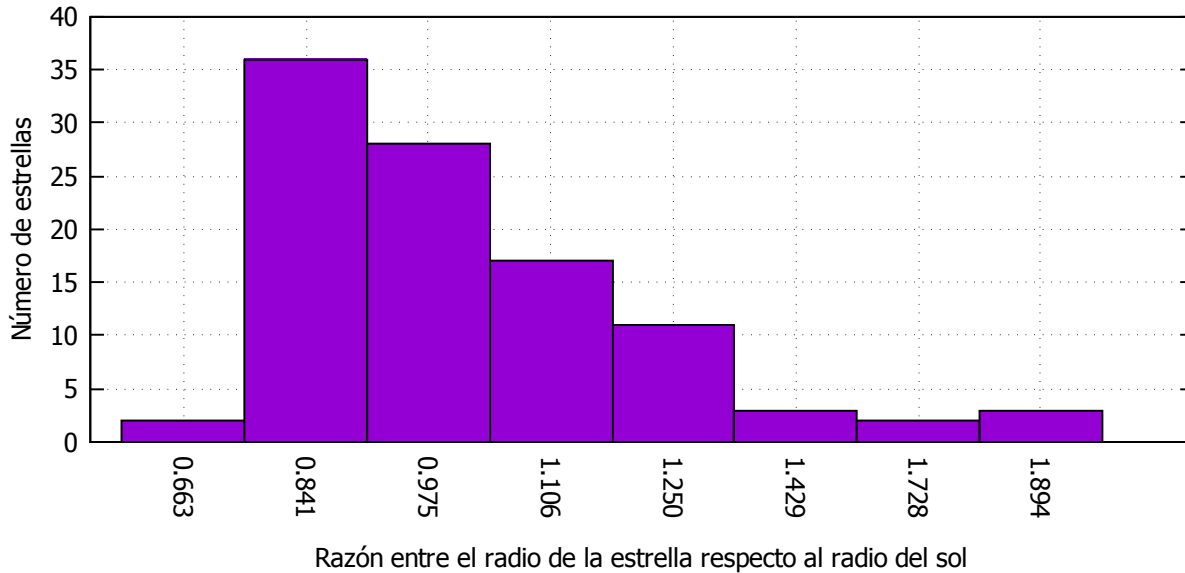


Figura 43: Histograma de frecuencias para la razón entre el radio de las estrellas del cúmulo del Trapecio respecto al radio del sol. Datos tomados entre feb-mar de 2019. (Fuente: Esta investigación.)

Teniendo en cuenta que la **magnitud absoluta** se define para una distancia de $10pc$, entonces es posible unir los datos de los dos cúmulos trabajados. Esto se realiza en un **diagrama H-R** en términos de **magnitud absoluta** e **Índice de color** en los ejes complementarios, o **Luminosidad** y **Temperatura** en los ejes principales.

En la figura 44 se observan los parámetros obtenidos para los cúmulos estelares del Trapecio y las Híades. Los dos ejes se encuentran graficados en escala logarítmica. Utilizando la ecuación 19 se graficó los isoradios para valores de 10, 1, 0.1, 0.01 y 0.001 radios solares. Adicionalmente para localizar el sol en el diagrama se agregaron los siguientes datos: índice de color 0.656, magnitud absoluta 4.83, temperatura 5778 K y luminosidad 1.

Diagrama HR para las estrellas de los cúmulos de las Híades de Tauro y el Trapecio de Orión. Isoradios principales

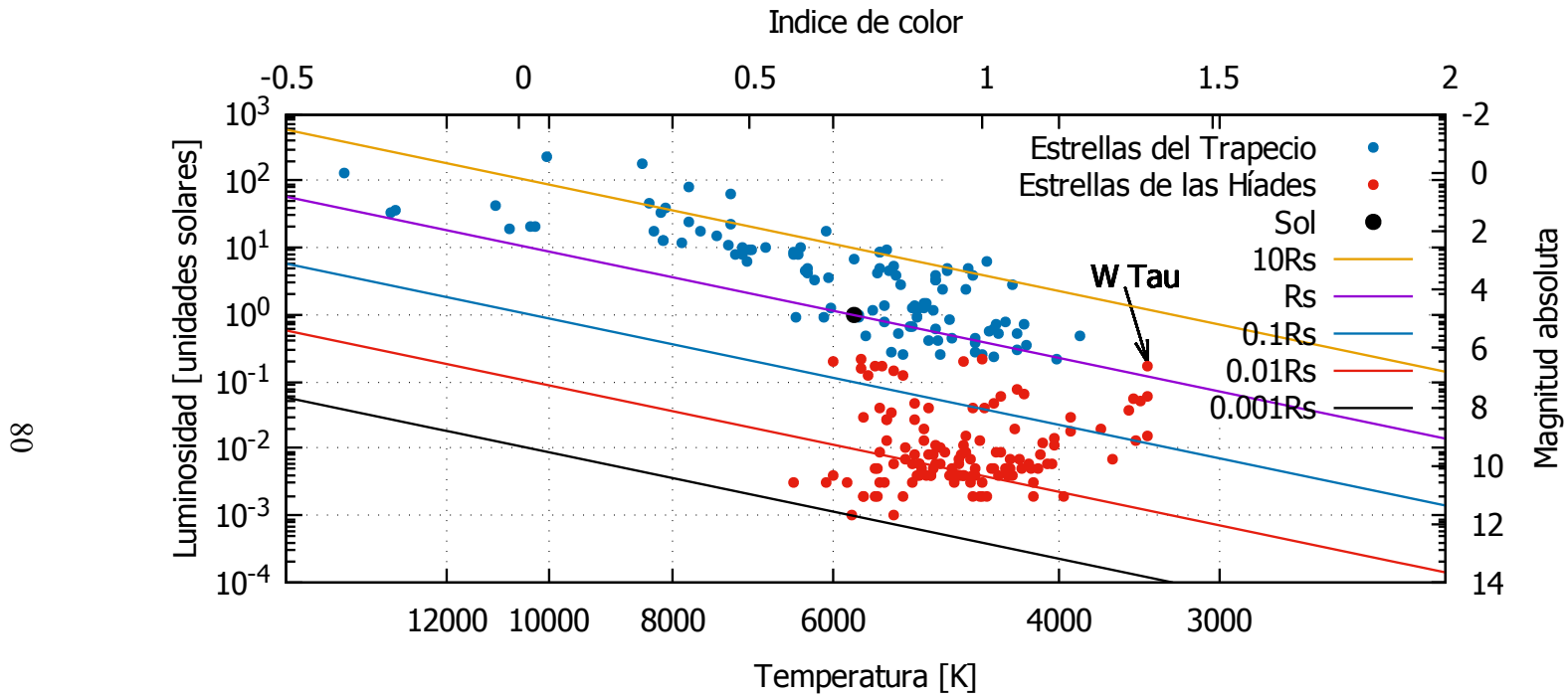


Figura 44: Diagrama H-R de las estrellas del cúmulo del Trapecio en azul, del cúmulo de las Híades en rojo y el sol en negro. Radio del sol $R_s = 695.700$ km. Luminosidad del sol $L_s = 3,828 \times 10^{26}$ W. (Fuente: Esta investigación.)

5.4. Comparación con artículos anteriores

Para el diagrama HR obtenido para el **cúmulo de las Híades** de la constelación de Tauro que se ve en la figura 45, se realizó una comparación con las gráficas obtenidas por M.A.C. Perryman et al en 1998 como se ve en la figura 46 y por De Bruijne et al en 2001 como se aprecia en la figuras 47 y 48 respectivamente. El rectángulo rojo muestra la zona en magnitud absoluta e índice de color que se obtuvo en el presente trabajo.

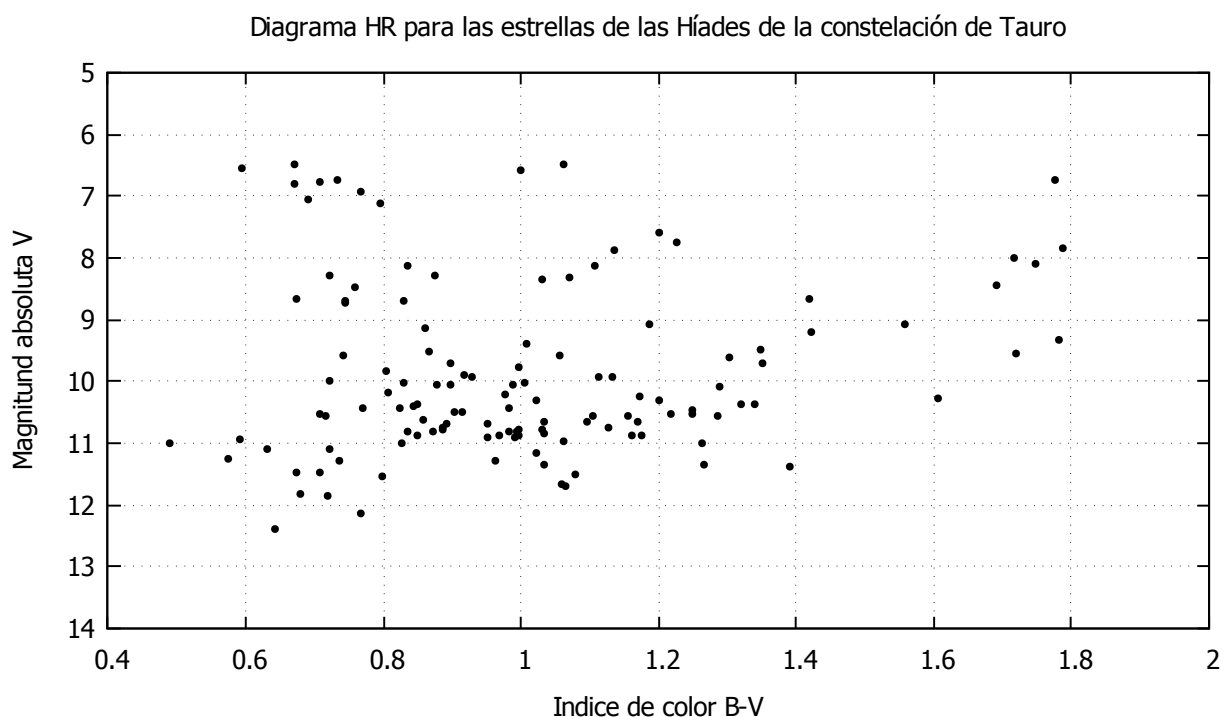


Figura 45: Diagrama HR para las Híades medidas en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño. (Fuente: Esta investigación.)

Para el diagrama de M.A.C. Perryman et al. de la figura 46 se ve una variación de estrellas en magnitud absoluta que va por debajo de la quinta magnitud hasta por encima de la quinceava, mientras que para el índice de color, va desde valores inferiores al cero hasta cercanos al 2.

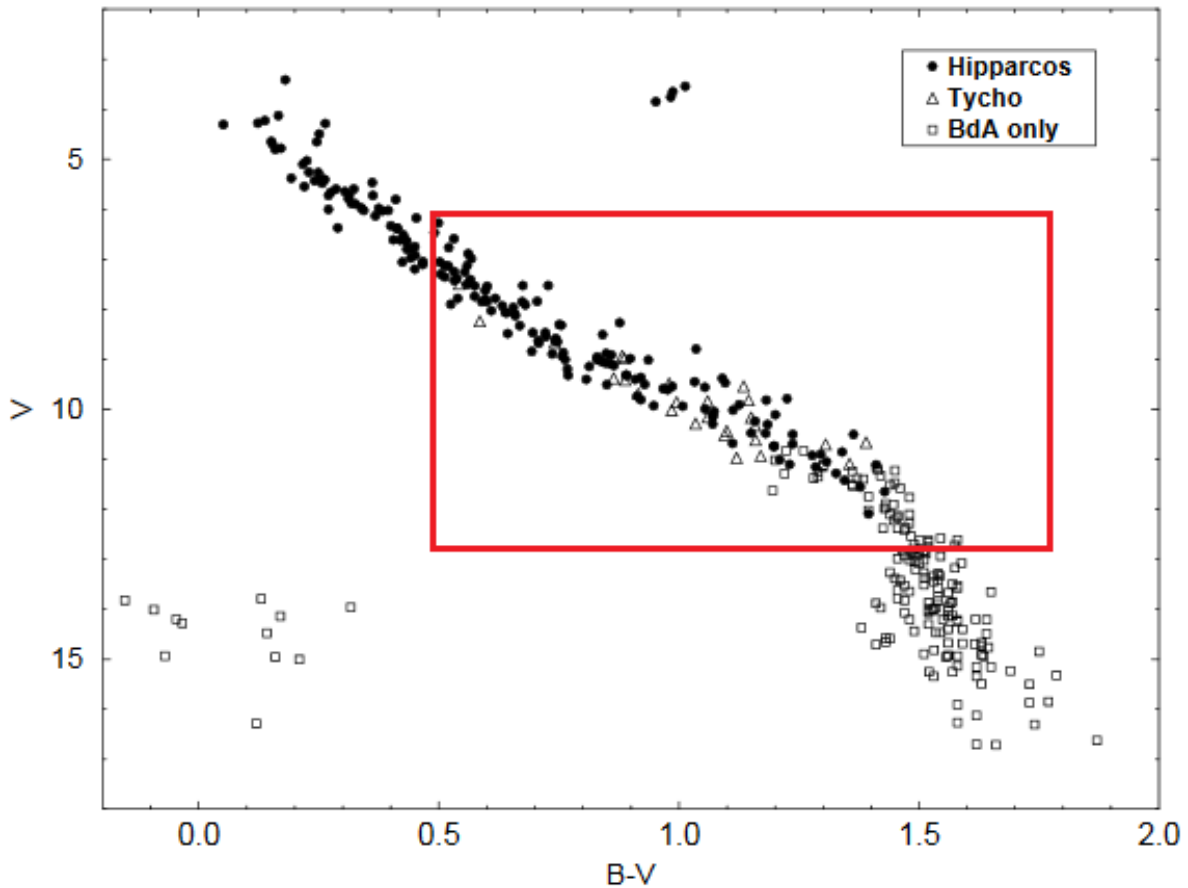


Figura 46: Diagrama HR para las Híades por M.A.C. Perryman et al en 1998 Perryman, M.A.C., Brown, A.G.A, Lebreton, Y., Gomez, A., Turon, C., Cayrel, G.,...Crifo, F. (1998).

Por otro lado De Bruijne et al. muestra dos diagramas HR, el primero que se ve en la figura 47 que varía su magnitud absoluta en valores cercanos a 10 y mayores que cero, mientras su índice de color va desde el cero hasta el 1.5 para sus tres diagramas, que son tres tipos de tomas de datos y en donde se observa una secuencia principal marcada.

El siguiente diagrama HR que se ve en la figura 48 muestra 92 miembros de alta fiabilidad para ser representados, dado que el autor ha descartado todos los objetos con distancias mas allá de los 40 parsecs del centro del cúmulo, estrellas múltiples y las relacionadas al paralaje secular, se observa una secuencia principal muy marcada y zona de turn-off al igual que posibles puntos de turn-off.

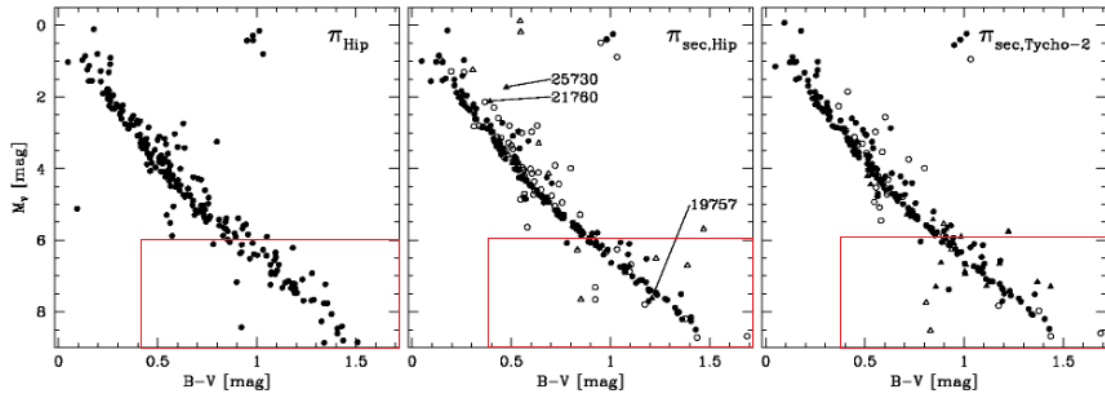


Figura 47: Diagrama HR para las Híades por De Bruijne et al en 2001 de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001).

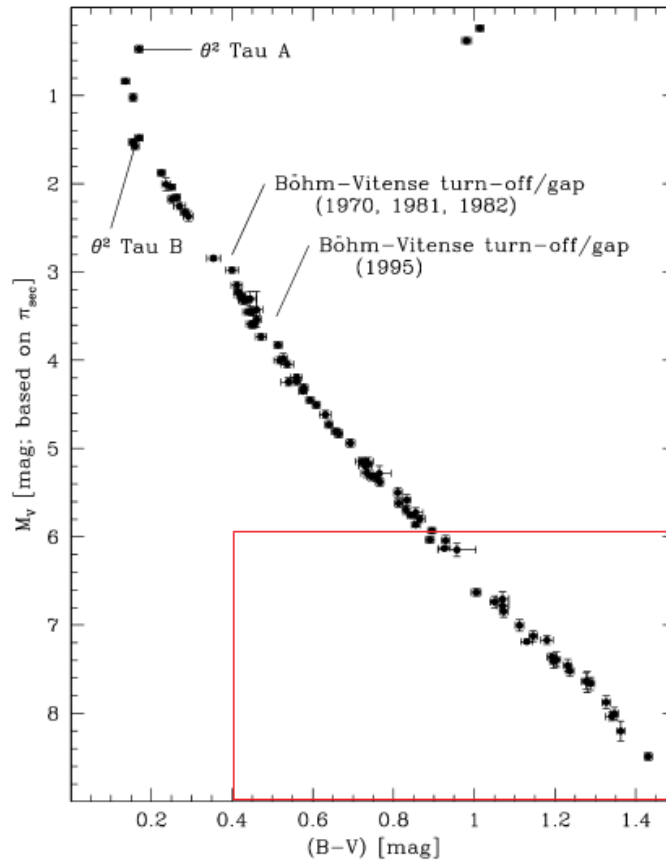


Figura 48: Diagrama HR para las Híades por De Bruijne et al en 2001 de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001).

También se tiene el diagrama HR, obtenido en el trabajo de grado de Mafla K. de la Universidad de Nariño en 2016 que se ve en la figura 49, donde realizó un diagrama de color magnitud para Híades en pro de determinar parámetros físicos como edad, metalicidad y módulo de distancia. Se observa similitud en este diagrama respecto al realizado en el presente trabajo, por un lado se tiene un índice de color que va desde el 0.4 hasta un valor cercano a 1.5, mientras que la magnitud varía desde 13 hasta valores cercanos a la magnitud 19. El diagrama realizado en el presente trabajo, no contiene magnitudes tan altas dada la instrumentación empleada, si se compara a la hecha por Mafla K. en 2016, donde se empleó un telescopio de 1.5 metros del observatorio San Pedro Mártir de la Universidad Nacional Autónoma de México en Baja California Sur.

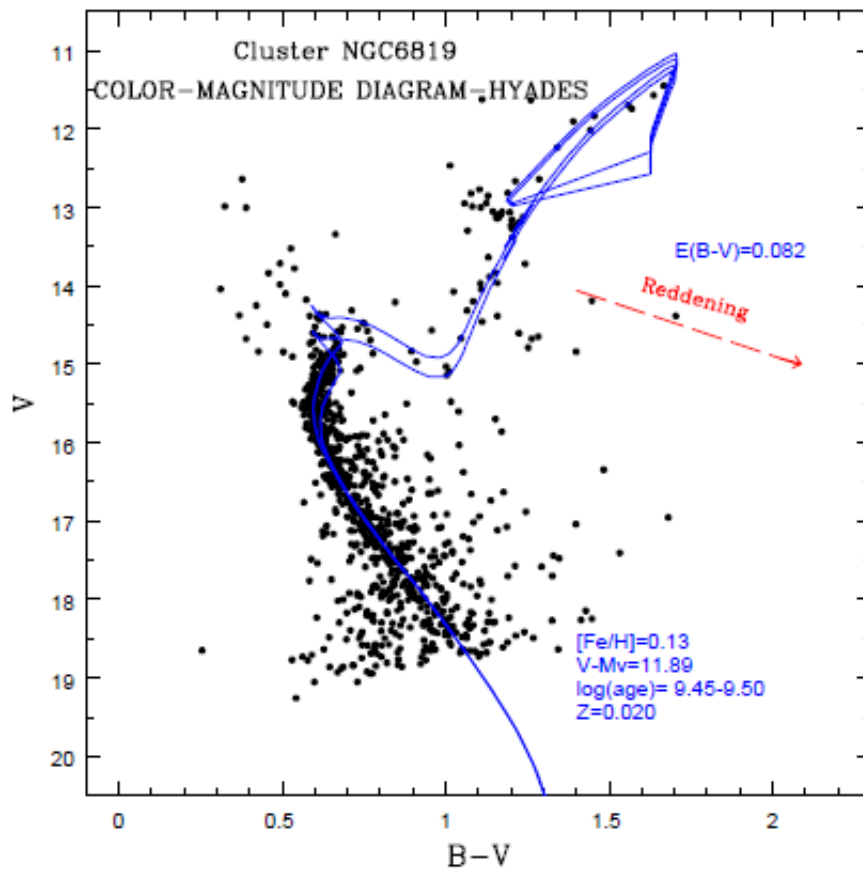


Figura 49: Diagrama HR para las Híades por Mafla K. en 2016 Mafla (2016).

Para el **cúmulo del Trapecio** de la constelación de Orión, se obtuvo a partir de los datos del presente trabajo el diagrama HR que se ve en la figura 50, se ha ilustrado magnitud absoluta en función del índice de color.

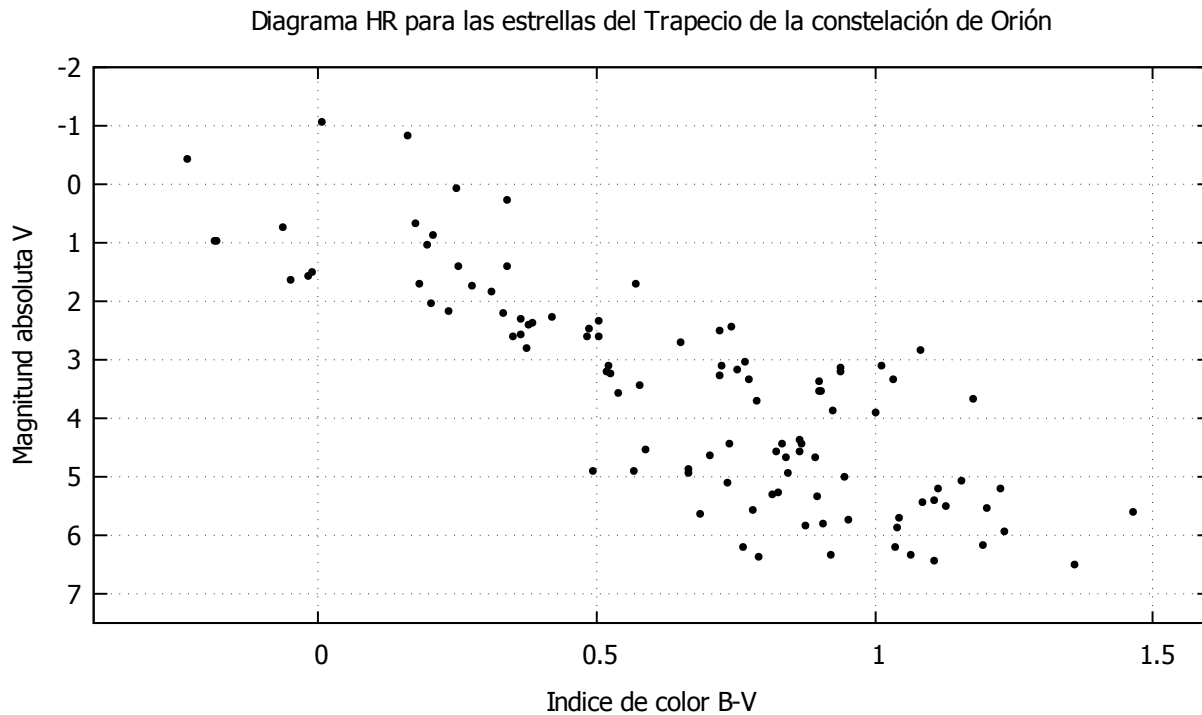


Figura 50: Diagrama HR para el trapecio de Orión obtenido en el presente trabajo. (Fuente: Esta investigación.)

Se observa en la figura 51 el diagrama HR obtenido por Warman, J. and Echevarria, J. en 1977 para estrellas en sistemas de tipo trapecio, destacandose que uno de los referentes es el Trapecio de Orión. El 10% de este tipo de sistemas, presentan una cualidad como su edad estelar que es cercana al orden de magnitud de 10^5 años y con esto se espera características asociadas a objetos jóvenes. Este diagrama varia en índice de color desde el -0.5 hasta 2 y en magnitud absoluta de 8 a 12, se observa que esta figura presenta un trazado que muestra la secuencia principal. Dentro del rectángulo rojo se encuentra las estrellas que están dentro de los intervalos de índice de color y magnitud absoluta realizados en el presente trabajo.

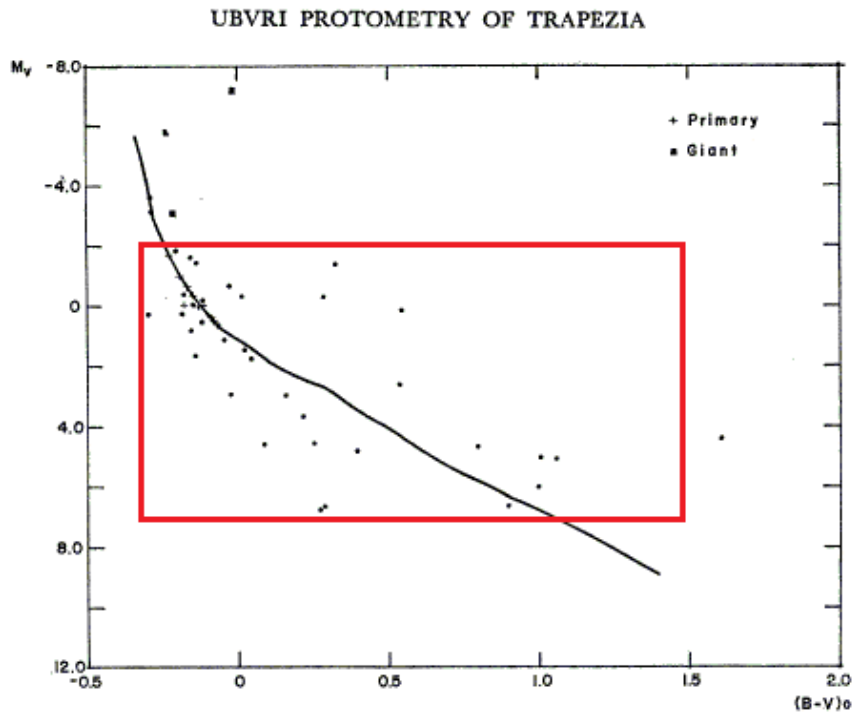


Figura 51: Diagrama HR para el trapecio de Orión por Warman, J. and Echevarria, J. en 1977 Warman y Echevarria (1977).

En la figura 52 se observa magnitud en función de la temperatura efectiva por F. C. Riddick, P. F. Roche y P. W. Lucas en 2007. Se ve la variación de magnitud entre los valores de 10 y 18, que los autores denominan la magnitud H, las isócronas representan las edades estelares que van desde el millón de años hasta cercanas a los 20 millones. Por otro lado las temperaturas, están por debajo de los 3500 K y por encima de los 2000 K.

Si se compara con el diagrama de temperatura obtenido en nuestra experimentación visto en la figura 29, se observa que los valores de temperatura y magnitud no se ven, pero complementarían la secuencia principal por debajo de los valores de temperatura obtenidos, cuyos valores mínimos fueron de 4000 K y de magnitudes mínimas de escala 7.

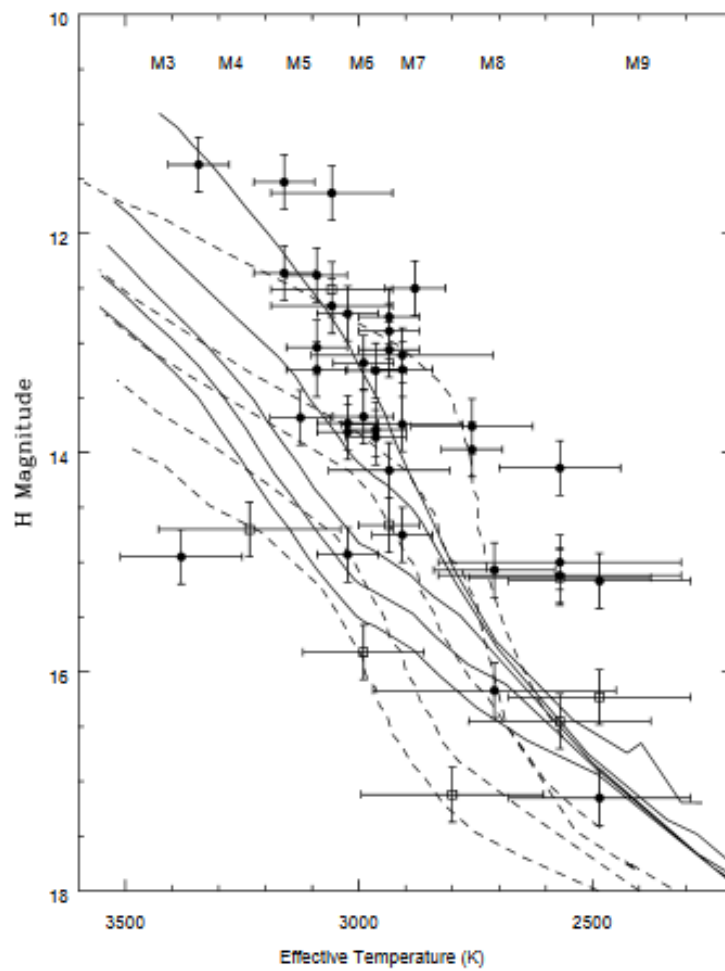


Figura 52: Diagrama HR para el Trapecio de la constelación de Orión, Magnitud en función de la temperatura efectiva en Kelvin por F. C. Riddick, P. F. Roche y P. W. Lucas en 2007 Riddick, F.C. and Roche, P.F. and Lucas, P.W. (2007).

5.5. Análisis estrella GSC 1265:1052 o W Tau

La estrella con **rótulo numérico 61** de las Híades presenta diferencias en temperatura, luminosidad y radio respecto a las demás estrellas de dicho cúmulo. Estas variaciones son debidas a que esta estrella corresponde a una estrella variable. La estrella se denomina **GSC 1265:1052** o **W Tau**, su rango de magnitud es 8.2 - 13 en filtro V. AAVSO (2019)

Esta irregularidad es debida a que esta estrella es catalogada como variable.

Tabla 5: Características de la estrella variable W Tau. Datos tomados del catálogo AAVSO

Características de la estrella GSC 1265:1052	
Nombre	W Tau
AAVSO UID	000-BBH-004
Constelación	Tauro
J2000.0	RA: 04:27:57.19 (66.98829) DEC: +16 02 36.2 (+16.04339)
B1950.0	04 25 05.91 +15 55 58.8
Movimiento propio	RA: -5.9 +/- 1.5 mas/y Dec: -3.2 +/- 1.2 mas/y
Coordenadas galácticas	180.087 -22.035
Tipo de variabilidad	SRB
Tipo espectral	M4-M6.5
Rango de magnitud	8.2 - 13 V
Periodo	245 d
Rise/eclipse dur.	53 %

Adicionalmente, al comparar los datos obtenidos de magnitudes en nuestro proyecto con los valores tomados por varios observatorios y posteriormente anexados en el catálogo AAVSO (Imágenes 53 y 54), se observa que coinciden con la curva de luz, obteniéndose $V=10.106$ y $B=11.883$ (los errores y SNR respectivos se encuentran en la tabla 2. Esta estrella fue trabajada el día 15 de marzo de 2019 a entre las 00:00 UT y 02:00 UT.

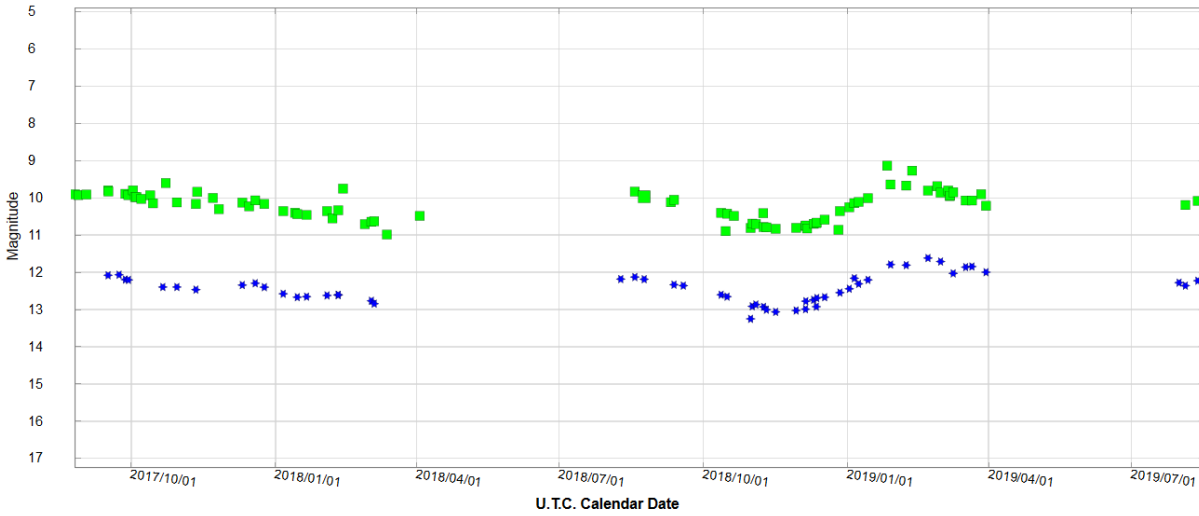


Figura 53: Datos de la magnitud aparente para la estrella **W Tau** medidos por diferentes observatorios y anexados en el catálogo AAVSO. En color verde la magnitud en filtro visible y de color azul la magnitud con filtro azul. AAVSO (2019a)

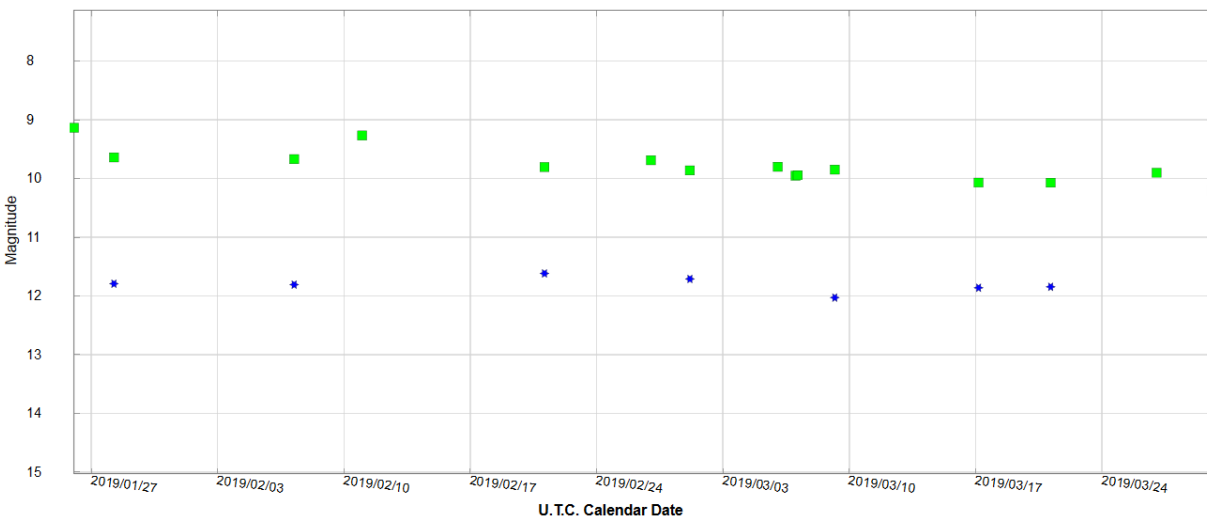


Figura 54: Datos de la magnitud aparente para la estrella **W Tau** medidos por diferentes observatorios para las fechas correspondientes al presente trabajo (febrero y marzo de 2019) y anexados en el catálogo AAVSO. En color verde la magnitud en filtro visible y de color azul la magnitud con filtro azul. AAVSO (2019b)

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al comparar las estrellas de los cúmulos trabajados y basados en las edades de las Híades de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001) y el Trapecio Chandra X-ray Observatory Center (2019) se aprecia que las estrellas del cúmulo de las Híades por ser un cúmulo más longevo, la gran mayoría de estrellas poseen temperaturas inferiores a las del sol, esto dado que a mayor edad, menor temperatura; mientras que las estrellas del cúmulo del Trapecio, se observa estrellas con temperaturas superiores a las del sol, por ser mas jóvenes.

Los valores de radios y luminosidades concuerdan con sus edades. Rego (2000) Se tiene radios y luminosidades mayores para el cúmulo del Trapecio y menores para el cúmulo de las Híades.

Las estrellas del cúmulo de las Híades medidas en el Observatorio astronómico de la Universidad de Nariño al ser comparadas con el diagrama HR por M.A.C. Perryman et al en 1998 junto con el de De Bruijne et al. en 2001 y Mafla K. en 2016, concuerdan entre si para la zona trabajada, tanto en magnitud absoluta como índice de color, como se muestra en la figura 45.

De acuerdo a las publicaciones de Warman, J. & Echevarria, J. en 1977 junto con la de F. C. Riddick, P. F. Roche y P. W. Lucas en 2007 y el realizado en este trabajo, se observa que para sistemas tipo Trapecio como el de Orión, se ven formas similares del diagrama HR en cuanto a población de estrellas en los ejes de índice de color y magnitud absoluta, como se muestra en la imagen 50

Recomendaciones

Cabe resaltar que mediante los datos obtenidos para la realización de los diagramas Hertzsprung-Russell también es posible calcular la edad del cúmulo trabajado, pero para ello es necesario encontrar el *punto de giro* o *Turn-off Point* en inglés, y se debe realizar fotometría a un número mayor de estrellas de cada cúmulo, en un espectro mas amplio de magnitudes, para dicho proceso se debe contar con instrumentación mas especializada que permita determinar magnitudes por encima de 18.

Adicionalmente, es posible buscar estrellas variables desconocidas. Pero para ello es necesario tomar muchos datos en cada noche para cada estrella y durante varios días, de esta manera observar su variación periódica de luminosidad en el tiempo.

Para complementar en mayor detalle el estudio de las estrellas, se debe realizar espectrometría con el propósito de encontrar valores de masa y con ello de gravedad.

Referencias

- AAVSO. (2019a). *Curva de luz para la estrella W Tau, datos 2017 a 2019*. <https://www.aavso.org/LCGv2/static.htm?DateFormat=Calendar&RequestedBands=&Grid=true&view=api.delim&ident=wtau&fromjd=2457988&tojd=2458718.449&delimiter=@@@>.
- AAVSO. (2019b). *Curva de luz para la estrella W Tau, datos 2019*. <https://www.aavso.org/LCGv2/static.htm?DateFormat=Calendar&RequestedBands=V,B&Grid=true&view=api.delim&ident=wtau&fromjd=2458506&tojd=2458596.449&delimiter=@@@>.
- AAVSO. (2019). *The International Variable Star Index*. <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=35023>.
- Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables AAVSO. (2015). *Guía de fotometría CCD de la AAVSO* (Vol. 1.1). 49 Bay State Road Cambridge, MA 02138: AAVSO. (ISBN 978-1-939538-13-0)
- Ballesteros, F. (2012). New insights into black bodies. *EPL*.
- Celestron Corporation. (2009). Celestron cge pro series instruction manual cge pro 1400 [Manual de software informático]. 2835 Columbia Street Torrance, CA 90503 U.S.A.. (<http://www.celestron.com>)
- Chandra X-ray Observatory Center. (2019). *Orion Trapezium Cluster: A star-forming region in the constellation of Orion*. http://chandra.harvard.edu/photo/2000/orion_trap/orion_trap_hand.html.
- de Bruijne, J. and Hoogerwerf, R. and de Zeeuw, T. (2001, mayo). A hipparcos study of the Hyades open cluster, improved colour-absolute magnitude and Hertzsprung–Russell diagrams. *Astronomy & Astrophysics*, 367, 111-147.
- Dolan, C. (s.f.). *Constelaciones, Tauro*, Departamento de Astronomía, Universidad de Wisconsin – Madison. <http://www.astro.wisc.edu/~dolan/constellations/constellations/>

- Taurus.html.
- ESA/ESO. (2012). Programa de ejercicios de astronomía para estudiantes basado es observaciones del telescopio espacial hubble de la nasa y la esa, y de los telescopios de eso [Manual de software informático]. 2835 Columbia Street Torrance, CA 90503 U.S.A.. (<https://www.eso.org>)
- FisicaLab. (s.f.). *Temperatura*. <https://www.fisicalab.com/apartado/temperatura#contenidos>.
- Flandes, A. (2013). El poder del sol. *¿Cómo ves? Revista de divulgación científica de la Universidad Nacional Autónoma de México – UNAM*, 176, 11-15.
- Goossens, M. F., M., y Samarin, A. (1993). *The latex companion*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Hainaut, O. (2005, 1 de jun). *Signal, Noise and Detection, European Southern Observatory*. <http://www.sc.eso.org/~ohainaut/ccd/sn.html>.
- Hermans, L. (s.f.). *Pregúntale a un astrónomo, para niños: ¿Qué es una estrella?* <http://legacy.spitzer.caltech.edu/espanol/edu/askkids/star.shtml>.
- IAU Inter-Division A-G Working Group on NominalUnits for Stellar & Planetary Astronomy. (2015). Resolution b3on recommended nominal conversionconstants for selected solar and planetaryproperties. *The XXIXth International Astronomical Union General Assembly*.
- Mafla, K. (2016, Mayo). Fotometría CCD, UBVRi de cúmulos estelares abiertos galácticos. *Universidad de Nariño*, 14,25.
- Negueruela, I., y Clark, S. (2005, mar). *Observatorio europeo austral, eso 0510 - comunicado de prensa. westerlund 1 : Zoológico estelar joven e intenso*,. Descargado de <https://www.eso.org/public/unitedkingdom/news/eso0510/>
- Olguin, L. (2019). *Astrofísica i, area de astronomía dif us, universidad de sonora*. http://www.astro.uson.mx/~lorenzo/Cursos/Astrofisica1/Material_del_curso_files/Astrofisica1_s03_Constelaciones.pdf.
- Oster, L. (2004). *Astronomía moderna, las relaciones color magnitud*. Barcelona-España: Editorial Reverte S.A., (p 139,209)
- P., G., y E., G. (2008). *La vida privada de las estrellas*. España: Creative Commons España 2.5., (p 2-6)
- Perryman, M.A.C., Brown, A.G.A, Lebreton, Y., Gomez, A., Turon, C., Cayrel, G.,...Crifo, F. (1998). The hyades: distance, structure, dynamics, and age. *Astronomy & Astrophysics*, 331, 90.

- Pogson, N. R. (1856). Scaling the magnitude: the fall and rise of n. r. pogson. *Journal of the British Astronomical Association*,, 17.
- Portilla, J.G. (2001). *Astronomía para todos*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Quijano, A. (2006). *Diseño de un método experimental para medir temperaturas estelares mediante la cámara ccd y espectroscopia*. Editorial universidad de Nariño.
- Quintero, E. (2010). *Medición de los cambios en la luminosidad de las estrellas variables mediante el procesamiento digital de imágenes* (Tesis de Master no publicada). Universidad Tecnológica de Pereira.
- Rego, M. (2000, mar). Curso de astronomía y astrofísica antares. , *Programa de nuevas tecnologías, ministerio de educación y cultura*, 2(3), 3,4.
- Riddick, F.C. and Roche, P.F. and Lucas, P.W. . (2007, Noviembre). An optical spectroscopic hr diagram for low-mass stars and brown dwarfs in orion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 381.
- Ridpath, I. (1999). *Astronomía*. Diccionarios Oxford-Complutense. (p 698-696,741)
- Santa Barbara Instrument Group. (2003). Operating manual research camera models stl 1001e [Manual de software informático]. 147A Castilian Drive Santa Barbara, CA 93117. (<http://www.sbig.com>)
- Sato, B., Izumiura, H., Toyota, E., Kambe, E., Takeda, Y., Masuda, S., y Ida, S. (2007, may). A planetary companion to the hyades giant e tauri. *The Astrophysical Journal, The American Astronomy Society*, 661, 527-531.
- Servajean E. et al. (s.f.). *M42 Nebulosa de Orion, Seminario de Diseño, Departamento de Astronomía, Universidad de Chile*. http://www.das.uchile.cl/~simon/docencia/sd20a_2006B/informes/1_M42.pdf.
- Snyder, L. (2007). *Diagramas hr de cúmulos estelares* (Vol. 1). , Department of Physics Gettysburg College Gettysburg, PA.
- Survey, S. D. S. (2019). *Calculating the Radius of a Star*. <http://cas.sdss.org/dr4/en/proj/advanced/hr/radius1.asp>.
- Warman, J., y Echevarria, J. (1977, mayo). UBVRI photometry of stars in trapezium type systems. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 3, 133-138.

Anexo A. Tablas de datos para las estrellas del cúmulo de las Híades

Para el cúmulo de las Híades de Tauro se obtuvo un total de 123 estrellas medidas y 4 estrellas patrón (identificadas con una r en la columna del rótulo numérico).

A1. Coordenadas ecuatoriales de las estrellas del cúmulo de las Híades

Tabla 1: Tabla de las coordenadas ecuatoriales del cúmulo de las Híades.

Cúmulo de las Híades de Tauro			
#	NOMBRE	RA	DEC
1r	GSC 1265:423	4:25:45.95	16:34:40.41
2	GSC 1265:887	4:25:44.1	16:39:21.78
3	GSC 1265:587	4:25:44.51	16:40:32.63
4	GSC 1265:941	4:25:30.9	16:38:48
5	GSC 1265:65	4:25:36.6	16:36:7
6	GSC 1265:315	4:25:40.5	16:33:56
7	GSC 1265:	4:25:33.1	16:34:45
8	GSC 1265:539	4:25:27.2	16:33:23
9	GSC 1265:33	4:25:16.9	16:34:36
10	GSC 1265:93	4:25:8.4	16:40:1
11	GSC 1265:969	4:25:1.6	16:39:3

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro			
#	NOMBRE	RA	DEC
12	GSC 1265:249	4:25:1.3	16:34:59
13	GSC 1265:549	4:25:3.4	16:32:44
14	GSC 1265:557	4:25:13.8	16:26:57
15	GSC 1265:135	4:25:52.8	16:28:56
16	GSC 1265:579	4:25:53.7	16:27:43
17	GSC 1265:917	4:26:9.8	16:27:17
18	GSC 1265:765	4:26:10.2	16:25:34
19	GSC 1265:277	4:26:22.1	16:25:38
20	GSC 1265:639	4:26:30.9	16:24:11
21	GSC 1265:229	4:26:26.5	16:27:44
22	GSC 1265:437	4:26:27.2	16:29:43
23	GSC 1265:861	4:26:26.87	16:30:47.54
24	GSC 1265:247	4:26:20.2	16:32:36
25	GSC 1265:11	4:26:6.7	16:31:22
26	GSC 1265:279	4:26:3.3	16:32:33
27	GSC 1265:339	4:26:4.5	16:34:0
28	GSC 1265:441	4:26:10.7	16:36:46
29	GSC 1265:821	4:26:27.4	16:41:2
30	GSC 1265:725	4:26:16.9	16:44:8
31	GSC 1265:97	4:25:39.6	16:45:32
32	GSC 1265:733	4:26:17.1	16:40:59
33	GSC 1265:807	4:26:24.5	16:41:14
34	GSC 1265:23	4:26:13.8	16:44:54
35	USNO STAR	4:25:56.77	16:24:12.52
36	GSC 1265:503	4:25:21.8	16:34:29
37	GSC 1265:547	4:26:20.1	16:24:14
38r	GSC 1265:16	4:27:37.12	16:1:46.71
39	GSC 1265:710	4:27:32.7	16:1:51
40	GSC 1265:1072	4:27:41.2	15:59:39

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro			
#	NOMBRE	RA	DEC
41	GSC 1265:384	4:27:47.2	16:2:53
42	GSC 1265:94	4:27:20.8	15:59:18
43	GSC 1265:322	4:27:26.7	15:56:37
44	GSC 1265:709	4:27:25	16:10:50
45	GSC 1265:819	4:27:36.4	16:8:38
46	GSC 1265:863	4:27:47	16:7:43
47	GSC 1265:1080	4:27:29	15:50:28
48	GSC 1265:1033	4:27:7.9	16:4:42
49	GSC 1265:690	4:26:51.7	15:51:25
50	GSC 1265:124	4:27:46.9	15:52:14
51	GSC 1265:625	4:28:11.6	16:12:3
52	GSC 1265:632	4:27:59.1	15:57:48
53	GSC 1265:946	4:28:0.7	15:55:59
54	GSC 1265:164	4:28:7.1	15:56:20
55	GSC 1265:727	4:27:37.7	16:9:39
56	GSC 1265:430	4:26:56.3	15:55:25
57	USNO Star	4:27:4.19	16:4:46.46
58	GSC 1265:276	4:27:23.8	15:51:52
59	GSC 1265:881	4:27:30.5	16:6:44
60	GCS 1265:1047	4:28:8.4	16:3:14
61	GCS 1265:1052	4:27:57.21	16:2:34.94
62	GSC 1265:112	4:27:57.7	16:3:9
63	GSC 1265:332	4:27:34.6	16:1:23
64r	GSC 1265:861	4:26:26.87	16:30:47.54
65	GSC 1265:437	4:26:27.2	16:29:43
66	GSC 1265:339	4:26:4.5	16:34:0
67	GSC 1265:279	4:26:3.3	16:32:33
68	GSC 1265:11	4:26:6.7	16:31:22
69	GSC 1265:765	4:26:10.2	16:25:34

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro			
#	NOMBRE	RA	DEC
70	GSC 1265:441	4:26:10.7	16:36:46
71	GSC 1265:917	4:26:9.8	16:27:17
72	GSC 1265:995	4:26:11.5	16:19:24
73	GSC 1265:733	4:26:17.1	16:40:59
74	GSC 1265:247	4:26:20.2	16:32:36
75	GSC 1265:127	4:26:17.5	16:32:4
76	GSC 1265:229	4:26:26.5	16:27:44
77	GSC 1265:277	4:26:22.1	16:25:38
78	GSC 1265:547	4:26:20.1	16:24:14
79	GSC 1265:61	4:26:36.7	16:27:47
80	GSC 1265:639	4:26:30.9	16:24:11
81	GSC 1265:587	4:25:44.51	16:40:32.63
82	GSC 1265:887	4:25:44.1	16:39:21.78
83	GSC 1265:423	4:25:45.95	16:34:40.41
84	GSC 1265:315	4:25:40.5	16:33:56
85	GSC 1265:135	4:25:52.8	16:28:56
86	GSC 1265:579	4:25:53.7	16:27:43
87	USNO STAR	4:25:56.77	16:24:12.52
88	GSC 1265:991	4:26:50.4	16:20:0
89	GSC 1265:723	4:27:5	16:22:12
90	GSC 1265:313	4:27:0.7	16:24:6
91	GSC 1265:445	4:26:57.8	16:25:56
92	GSC 1265:829	4:26:57.6	16:25:4
93	GSC 1265:525	4:26:54.8	16:38:6
94	GSC 1265:103	4:26:41	16:35:12
95r	GSC 1265:245	4:27:17.54	16:30:40.45
96	GSC 1265:45	4:27:42.4	16:38:26
97	GSC 1265:29	4:27:31	16:40:34
98	GSC 1265:219	4:27:26.4	16:40:40

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro			
#	NOMBRE	RA	DEC
99	GSC 1265:293	4:27:27.6	16:36:32
100	GSC 1265:161	4:27:14.2	16:36:30
101	GSC 1265:103	4:26:41	16:36:12
102	GSC 1265:229	4:26:26.5	16:27:44
103	GSC 1265:991	4:26:50.4	16:20:0
104	GSC 1265:445	4:26:57.8	16:55:56
105	GSC 1265:829	4:26:57.6	16:25:4
106	GSC 1265:313	4:27:0.7	16:24:6
107	GSC 1265:347	4:27:0	16:23:2
108	GSC 1265:723	4:27:5	16:22:12
109	GSC 1265:181	4:27:15.7	16:27:50
110	GSC 1265:447	4:27:27.7	16:20:16
111	GSC 1265:853	4:27:34.2	16:26:8
112	GSC 1265:357	4:27:41.6	16:29:27
113	GSC 1265:169	4:27:56.4	16:36:36
114	GSC 1265:495	4:27:54.6	16:40:2
115	GSC 1265:845	4:28:1.3	16:32:1
116	GSC 1265:521	4:28:1.7	16:26:45
117	GSC 1265:591	4:27:41	16:32:8
118	GSC 1265:591	4:27:41	16:32:8
119	GSC 1265:619	4:28:1	16:32:45
120	GSC 1265:497	4:27:58.6	16:26:40
121	GSC 1265:359	4:28:0.5	16:29:26
122	GSC 1265:653	4:27:36.3	16:39:22
123	GSC 1265:831	4:27:16	16:39:41
124	GSC 1265:721	4:26:58.4	16:23:30
125	GSC 1265:841	4:26:50.4	16:30:25
126	GSC 1265:857	4:26:19.9	16:23:54
127	GSC 1265:427	4:27:19.7	16:26:58

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro			
#	NOMBRE	RA	DEC

Tabla de las coordenadas ecuatoriales del cúmulo de las Híades. Rótulo numérico (#), nombre del catálogo GSC y USNO, ascensión recta en h:mm:ss (RA), seclinación en d:mm:ss (DEC).

A2. Magnitudes aparentes, factores SNR e índice de color de las estrellas del cúmulo de las Híades

Tabla 2: Tabla para el índice de color del cúmulo de las Híades.

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
1r	10.842	0.293	666.720	10.108	0.290	1066.821	0.734	0.045
2	10.514	0.006	929.018	9.921	0.019	1256.896	0.593	0.020
3	10.933	0.006	637.353	9.933	0.010	1295.980	1.000	0.012
4	13.496	0.031	54.297	11.805	0.048	200.879	1.691	0.057
5	13.975	0.023	39.292	13.078	0.063	69.623	0.897	0.067
6	15.012	0.100	15.344	13.907	0.017	31.948	1.105	0.101
7	15.180	0.094	12.379	14.607	0.077	17.347	0.573	0.122
8	13.197	0.014	78.213	11.448	0.054	310.113	1.749	0.055
9	15.138	0.044	13.602	14.140	0.101	26.797	0.998	0.110
10	15.163	0.183	12.646	14.180	0.095	25.781	0.983	0.206
11	14.130	0.046	32.285	13.133	0.057	65.906	0.997	0.073
12	14.223	0.107	29.421	13.393	0.065	49.882	0.830	0.125
13	13.445	0.016	61.815	12.025	0.054	176.400	1.420	0.057
14	14.163	0.040	32.271	13.246	0.074	58.462	0.918	0.084
15	12.993	0.005	92.882	11.206	0.045	386.618	1.787	0.045
16	15.124	0.036	13.552	14.029	0.045	28.668	1.096	0.058
17	15.061	0.085	13.753	13.741	0.047	37.988	1.320	0.097
18	12.333	0.014	165.162	11.107	0.042	427.331	1.226	0.044
19	14.232	0.025	29.061	13.302	0.062	54.285	0.930	0.067

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
20	14.610	0.059	19.386	13.765	0.080	36.317	0.845	0.099
21	15.042	0.049	14.233	14.169	0.085	22.638	0.873	0.098
22	13.989	0.051	33.069	12.432	0.042	122.950	1.558	0.066
23	11.058	0.012	558.889	10.292	0.029	896.581	0.766	0.032
24	14.193	0.045	31.921	12.845	0.044	85.847	1.348	0.063
25	13.991	0.048	37.378	13.187	0.051	62.182	0.804	0.070
26	14.538	0.036	22.712	13.560	0.035	43.442	0.978	0.050
27	14.468	0.036	22.307	12.687	0.050	87.585	1.781	0.061
28	14.769	0.040	18.261	13.787	0.054	35.170	0.982	0.068
29	15.060	0.005	11.439	14.025	0.033	18.724	1.035	0.033
30	15.004	0.042	14.495	14.118	0.045	27.279	0.886	0.062
31	13.628	0.019	51.186	12.441	0.042	119.999	1.187	0.046
32	15.232	0.064	11.240	14.105	0.048	23.225	1.127	0.080
33	15.213	0.168	15.407	14.244	0.051	24.884	0.969	0.176
34	15.395	0.170	13.404	14.235	0.021	29.971	1.161	0.171
35	15.553	0.139	11.684	14.531	0.024	22.100	1.023	0.141
36	15.627	0.164	10.754	14.362	0.057	27.484	1.264	0.173
37	15.262	0.039	11.623	14.271	0.036	12.311	0.991	0.053
38r	11.288	0.166	706.091	10.492	0.081	1162.874	0.796	0.145
39	13.360	0.013	17.762	12.499	0.006	15.035	0.861	0.014
40	12.327	0.009	249.209	11.492	0.006	487.710	0.834	0.011
41	14.373	0.030	41.886	13.368	0.012	87.465	1.005	0.032
42	12.511	0.005	233.023	11.636	0.006	410.416	0.874	0.008
43	12.902	0.007	149.727	12.072	0.009	287.574	0.831	0.012
44	12.700	0.009	193.091	12.026	0.008	314.380	0.674	0.013
45	14.681	0.047	31.475	13.657	0.018	69.656	1.023	0.051
46	14.757	0.038	29.589	13.842	0.021	53.704	0.915	0.043
47	14.745	0.064	29.600	13.842	0.020	56.183	0.903	0.067
48	15.230	0.064	19.681	14.232	0.054	40.537	0.998	0.084

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
49	15.224	0.093	18.284	14.189	0.046	40.547	1.034	0.104
50	15.230	0.078	18.160	13.625	0.021	69.061	1.605	0.081
51	13.994	0.031	42.619	12.937	0.014	79.593	1.057	0.034
52	14.417	0.040	37.882	13.066	0.020	115.195	1.351	0.045
53	15.082	0.051	20.196	13.742	0.025	48.723	1.340	0.057
54	15.079	0.162	21.348	13.831	0.028	57.535	1.248	0.164
55	15.739	0.137	12.216	14.706	0.051	26.584	1.033	0.146
56	15.930	0.097	11.709	15.212	0.060	17.498	0.718	0.114
57	16.097	0.125	10.362	15.038	0.120	22.962	1.059	0.174
58	16.134	0.121	10.122	14.743	0.066	30.527	1.391	0.138
59	16.135	0.139	10.068	15.070	0.066	20.547	1.065	0.154
60	15.930	0.170	11.970	14.850	0.086	29.335	1.080	0.190
61	11.883	0.005	502.524	10.106	0.022	2293.720	1.777	0.022
62	15.041	0.027	18.530	14.155	0.034	10.446	0.886	0.044
63	13.756	0.017	92.842	12.748	0.012	179.825	1.008	0.021
64	11.112	0.028	637.042	10.420	0.014	1112.134	0.692	0.024
65	13.997	0.032	43.247	12.575	0.013	156.231	1.423	0.034
66	14.637	0.072	26.008	12.918	0.013	114.078	1.719	0.073
67	14.567	0.027	26.971	13.718	0.021	53.830	0.849	0.034
68	14.057	0.050	44.149	13.336	0.038	76.127	0.721	0.063
69	12.374	0.013	213.222	11.238	0.011	530.716	1.136	0.017
70	14.601	0.273	26.667	13.894	0.037	42.467	0.707	0.276
71	15.109	0.038	15.744	13.889	0.039	42.122	1.219	0.054
72	14.728	0.098	22.599	13.441	0.031	69.468	1.288	0.102
73	15.179	0.107	14.818	14.185	0.028	35.073	0.994	0.111
74	14.269	0.051	35.024	12.965	0.029	106.272	1.304	0.058
75	15.007	0.062	17.743	14.170	0.028	36.274	0.836	0.068
76	15.187	0.126	15.798	14.361	0.017	30.436	0.826	0.127
77	14.292	0.038	31.773	13.413	0.018	68.372	0.879	0.042

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
78	15.226	0.137	13.711	14.275	0.030	30.041	0.952	0.140
79	15.088	0.113	15.499	13.932	0.023	38.089	1.155	0.115
80	14.635	0.044	24.776	13.919	0.029	44.311	0.716	0.052
81	10.915	0.005	735.748	9.853	0.015	1823.674	1.062	0.016
82	10.506	0.003	1071.156	9.835	0.011	1770.976	0.670	0.011
83	10.843	0.002	836.429	10.137	0.017	1481.833	0.707	0.017
84	14.830	0.276	20.184	13.973	0.078	35.531	0.857	0.287
85	13.079	0.029	101.163	11.363	0.014	469.727	1.716	0.032
86	15.184	0.107	15.480	14.155	0.009	36.283	1.030	0.107
87	15.622	0.034	10.146	14.658	0.104	22.657	0.964	0.110
88	12.741	0.010	130.729	11.671	0.021	257.918	1.070	0.024
89	14.397	0.044	27.509	13.283	0.005	70.191	1.114	0.044
90	12.804	0.009	127.007	12.059	0.012	197.247	0.745	0.015
91	14.772	0.070	21.361	13.600	0.009	56.567	1.172	0.071
92	15.218	0.065	11.871	13.933	0.022	40.058	1.285	0.069
93	15.393	0.154	11.418	14.657	0.030	20.568	0.736	0.156
94	14.896	0.079	19.842	14.305	0.032	30.175	0.590	0.085
95r	10.828	0.025	890.271	10.157	0.010	1254.876	0.671	0.023
96	14.941	x	21.088	14.048	x	37.967	0.893	x
97	15.534	x	13.339	14.827	x	17.098	0.707	x
98	12.362	x	186.937	11.640	x	352.975	0.722	x
99	12.595	x	183.388	11.835	x	270.635	0.760	x
100	12.152	x	274.121	10.952	x	600.888	1.200	x
101	14.840	x	19.427	14.352	x	26.766	0.488	x
102	15.177	x	15.269	14.007	x	33.646	1.170	x
103	12.753	x	63.583	11.721	x	168.040	1.032	x
104	14.856	x	20.623	13.654	x	52.466	1.202	x
105	15.149	x	16.068	13.900	x	41.420	1.249	x
106	12.849	x	134.840	12.103	x	214.751	0.746	x

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
107	12.583	x	56.860	11.477	x	84.591	1.106	x
108	14.431	x	26.660	13.297	x	66.749	1.134	x
109	13.669	x	73.303	12.926	x	93.280	0.743	x
110	14.614	x	29.410	13.789	x	42.598	0.825	x
111	15.098	x	17.689	14.468	x	24.144	0.630	x
112	15.499	x	12.379	14.825	x	18.950	0.674	x
113	13.747	x	67.592	12.881	x	105.506	0.866	x
114	15.405	x	13.039	14.344	x	28.882	1.061	x
115	15.006	x	20.183	14.054	x	32.212	0.952	x
116	14.397	x	19.057	13.410	x	46.206	0.987	x
117	14.314	x	33.016	13.417	x	62.344	0.897	x
118	15.168	x	16.369	14.445	x	25.002	0.723	x
119	15.077	x	30.577	14.227	x	38.529	0.850	x
120	14.330	x	76.305	13.524	x	99.496	0.806	x
121	15.981	x	13.487	14.715	x	34.009	1.266	x
122	16.279	x	10.389	15.512	x	17.227	0.767	x
123	16.392	x	10.209	15.749	x	12.995	0.643	x
124	14.549	x	50.269	13.780	x	90.051	0.769	x
125	15.410	x	20.619	14.236	x	52.559	1.174	x
126	15.706	x	16.989	14.908	x	28.145	0.798	x
127	15.872	x	15.497	15.193	x	22.464	0.679	x

Tabla para el índice de color del cúmulo de las Híades. Rótulo numérico (#), magnitud aparente B y su respectivo error (V y $E_r B$), relación entre señal y ruido en azul ($SNRB$), magnitud aparente V y su respectivo error (V y $E_r V$), relación entre señal y ruido en visible ($SNRV$), índice de color y su error ($(B - V)$ y $E_r(B - V)$). Los valores marcados con una **x** indican que para esa estrella patrón no se obtuvo el respectivo error debido a una baja cantidad de fotografías.

A3. Temperatura, magnitud absoluta, razón de luminosidad y razón de radio de las estrellas del cúmulo de las Híades

Tabla 3: Tabla de valores para el cúmulo de las Híades.

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
1r	5488	147	6.748	0.290	0.171	0.020	0.462	0.037
2	5995	80	6.560	0.020	0.203	0.002	0.422	0.011
3	4743	29	6.572	0.011	0.201	0.001	0.671	0.008
4	3527	74	8.444	0.048	0.036	0.001	0.512	0.022
5	5003	179	9.717	0.063	0.011	0.001	0.142	0.010
6	4504	218	10.547	0.017	0.005	0.001	0.119	0.012
7	6077	496	11.247	0.077	0.003	0.001	0.048	0.008
8	3453	69	8.087	0.054	0.050	0.001	0.630	0.026
9	4749	266	10.780	0.101	0.004	0.001	0.097	0.011
10	4785	505	10.820	0.095	0.004	0.001	0.093	0.020
11	4749	176	9.773	0.057	0.011	0.001	0.153	0.012
12	5193	364	10.032	0.065	0.008	0.001	0.114	0.016
13	3918	91	8.665	0.054	0.029	0.001	0.375	0.018
14	4950	219	9.885	0.074	0.010	0.001	0.134	0.012
15	3407	54	7.846	0.045	0.062	0.001	0.723	0.024
16	4524	126	10.668	0.045	0.005	0.001	0.112	0.006
17	4086	170	10.381	0.047	0.006	0.001	0.157	0.013
18	4259	85	7.747	0.042	0.068	0.001	0.485	0.020
19	4918	173	9.941	0.062	0.009	0.001	0.132	0.009
20	5148	284	10.405	0.080	0.006	0.001	0.098	0.011
21	5070	271	10.808	0.085	0.004	0.001	0.084	0.009
22	3709	94	9.071	0.042	0.020	0.001	0.347	0.018
23	5385	100	6.932	0.030	0.145	0.002	0.441	0.017
24	4037	109	9.484	0.044	0.014	0.001	0.242	0.013
25	5269	211	9.827	0.051	0.010	0.001	0.122	0.010
26	4797	123	10.200	0.035	0.007	0.001	0.124	0.006

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
27	3415	74	9.327	0.050	0.016	0.001	0.364	0.016
28	4786	165	10.427	0.054	0.006	0.001	0.112	0.008
29	4660	76	10.665	0.033	0.005	0.001	0.106	0.004
30	5034	168	10.757	0.045	0.004	0.001	0.087	0.006
31	4335	92	9.081	0.043	0.020	0.001	0.253	0.011
32	4457	168	10.744	0.048	0.004	0.001	0.111	0.008
33	4818	437	10.884	0.051	0.004	0.001	0.089	0.016
34	4387	348	10.874	0.021	0.004	0.001	0.108	0.017
35	4689	331	11.170	0.024	0.003	0.001	0.083	0.012
36	4186	320	11.002	0.057	0.003	0.001	0.112	0.017
37	4765	128	10.911	0.036	0.004	0.001	0.090	0.005
38r	5293	439	7.132	0.081	0.120	0.004	0.416	0.069
39	5104	40	9.139	0.007	0.019	0.001	0.178	0.003
40	5179	31	8.132	0.006	0.048	0.001	0.274	0.003
41	4732	77	10.008	0.012	0.009	0.001	0.139	0.005
42	5067	23	8.276	0.007	0.042	0.001	0.268	0.002
43	5190	34	8.711	0.009	0.028	0.001	0.209	0.003
44	5693	44	8.666	0.009	0.029	0.001	0.178	0.003
45	4687	118	10.297	0.019	0.007	0.001	0.124	0.006
46	4956	113	10.481	0.021	0.006	0.001	0.102	0.005
47	4990	180	10.482	0.020	0.006	0.001	0.100	0.007
48	4748	202	10.872	0.054	0.004	0.001	0.093	0.008
49	4662	240	10.829	0.047	0.004	0.001	0.098	0.010
50	3642	112	10.265	0.021	0.007	0.001	0.208	0.013
51	4610	77	9.576	0.014	0.013	0.001	0.178	0.006
52	4032	76	9.706	0.020	0.011	0.001	0.219	0.008
53	4051	99	10.382	0.025	0.006	0.001	0.159	0.008
54	4218	308	10.471	0.029	0.006	0.001	0.141	0.021
55	4665	338	11.345	0.051	0.002	0.001	0.077	0.011

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
56	5540	381	11.852	0.060	0.002	0.001	0.043	0.006
57	4605	392	11.677	0.120	0.002	0.001	0.068	0.012
58	3965	228	11.382	0.066	0.002	0.001	0.105	0.012
59	4592	346	11.710	0.066	0.002	0.001	0.067	0.010
60	4559	421	11.490	0.086	0.002	0.001	0.076	0.014
61	3420	27	6.746	0.022	0.172	0.001	1.191	0.020
62	5034	120	10.795	0.035	0.004	0.001	0.085	0.004
63	4723	50	9.387	0.012	0.015	0.001	0.185	0.004
64	5629	83	7.060	0.014	0.129	0.001	0.381	0.011
65	3914	54	9.214	0.013	0.018	0.001	0.292	0.008
66	3491	93	9.557	0.013	0.013	0.001	0.314	0.017
67	5138	97	10.358	0.021	0.006	0.001	0.100	0.004
68	5531	210	9.976	0.038	0.009	0.001	0.103	0.008
69	4438	36	7.878	0.011	0.061	0.001	0.420	0.007
70	5579	934	10.533	0.037	0.005	0.001	0.078	0.026
71	4271	104	10.529	0.039	0.005	0.001	0.134	0.007
72	4144	185	10.080	0.031	0.008	0.001	0.175	0.016
73	4757	268	10.824	0.028	0.004	0.001	0.094	0.011
74	4114	104	9.604	0.029	0.012	0.001	0.221	0.011
75	5173	197	10.810	0.029	0.004	0.001	0.080	0.006
76	5204	373	11.001	0.017	0.003	0.001	0.073	0.010
77	5055	114	10.053	0.018	0.008	0.001	0.119	0.005
78	4862	354	10.914	0.030	0.004	0.001	0.087	0.013
79	4398	236	10.572	0.023	0.005	0.001	0.124	0.013
80	5548	175	10.558	0.029	0.005	0.001	0.078	0.005
81	4600	35	6.493	0.015	0.216	0.001	0.740	0.011
82	5705	39	6.475	0.011	0.220	0.001	0.485	0.007
83	5579	59	6.776	0.017	0.167	0.001	0.441	0.009
84	5115	809	10.613	0.078	0.005	0.001	0.090	0.028

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro									
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$	
85	3495	41	8.002	0.014	0.054	0.001	0.640	0.015	
86	4673	250	10.794	0.009	0.004	0.001	0.099	0.011	
87	4831	273	11.298	0.104	0.003	0.001	0.074	0.008	
88	4581	53	8.310	0.022	0.041	0.001	0.323	0.008	
89	4486	95	9.923	0.006	0.009	0.001	0.160	0.007	
90	5453	50	8.698	0.013	0.028	0.001	0.191	0.004	
91	4364	143	10.239	0.010	0.007	0.001	0.147	0.010	
92	4148	125	10.573	0.022	0.005	0.001	0.139	0.008	
93	5481	511	11.297	0.030	0.003	0.001	0.057	0.011	
94	6005	336	10.945	0.032	0.004	0.001	0.056	0.006	
95r	5703	82	6.797	0.010	0.164	0.001	0.419	0.012	
96	5015	x	10.688	x	0.005	x	0.090	x	
97	5578	x	11.467	x	0.002	x	0.051	x	
98	5528	x	8.280	x	0.042	x	0.225	x	
99	5404	x	8.475	x	0.035	x	0.215	x	
100	4309	x	7.592	x	0.079	x	0.509	x	
101	6444	x	10.992	x	0.003	x	0.048	x	
102	4368	x	10.647	x	0.005	x	0.121	x	
103	4667	x	8.361	x	0.039	x	0.304	x	
104	4305	x	10.294	x	0.007	x	0.147	x	
105	4215	x	10.540	x	0.005	x	0.137	x	
106	5449	x	8.743	x	0.027	x	0.187	x	
107	4502	x	8.117	x	0.049	x	0.366	x	
108	4442	x	9.937	x	0.009	x	0.163	x	
109	5459	x	9.566	x	0.013	x	0.128	x	
110	5206	x	10.429	x	0.006	x	0.094	x	
111	5853	x	11.108	x	0.003	x	0.055	x	
112	5692	x	11.465	x	0.002	x	0.049	x	
113	5089	x	9.521	x	0.013	x	0.150	x	

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo de las Híades de Tauro								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
114	4601	x	10.984	x	0.003	x	0.094	x
115	4861	x	10.694	x	0.005	x	0.096	x
116	4774	x	10.050	x	0.008	x	0.134	x
117	5004	x	10.057	x	0.008	x	0.121	x
118	5524	x	11.085	x	0.003	x	0.062	x
119	5134	x	10.867	x	0.004	x	0.079	x
120	5263	x	10.164	x	0.007	x	0.104	x
121	4183	x	11.355	x	0.002	x	0.096	x
122	5382	x	12.152	x	0.001	x	0.040	x
123	5804	x	12.389	x	0.001	x	0.031	x
124	5376	x	10.420	x	0.006	x	0.089	x
125	4360	x	10.876	x	0.004	x	0.110	x
126	5287	x	11.548	x	0.002	x	0.055	x
127	5674	x	11.833	x	0.002	x	0.042	x

Tabla de valores para el cúmulo de las Híades. Rótulo numérico (#), temperatura superficial de la estrella [K], magnitud absoluta V , razón entre la luminosidad de la estrella y la del sol (L/L_s), razón entre el radio de la estrella y la del sol (R/R_s), cada uno con sus respectivos errores.

Anexo B. Tablas de datos para las estrellas del cúmulo del Trapecio

Para el cúmulo del Trapecio de Orión se obtuvo un total de 101 estrellas medidas y 4 estrellas patrón (identificadas con una *r* en la columna del rótulo numérico). Las estrellas marcadas con un asterisco (*) indican que fueron medidas en dos zonas.

B1. Coordenadas ecuatoriales de las estrellas del cúmulo del Trapecio

Tabla 1: Tabla de las coordenadas ecuatoriales del cúmulo del Trapecio.

Cúmulo del Trapecio de Orión			
#	NOMBRE	RA	DEC
1r*	GSC 4778:1082	5:36:37.82	-6:25:30.37
2*	GSC 4778:1354	5:36:30.96	-6:27:13.79
3*	GSC 4778:1115	5:36:32.3	-6:30:14
4*	GSC 4778:1319	5:36:22.3	-6:27:0
5*	GSC 4778:1089	5:36:15.15	-6:23:55.95
6*	GSC 4778:1078	5:36:13.4	-6:27:31
7*	GSC 4778:1103	5:36:6.82	-6:23:36.8
8*	GSC 4778:1121	5:36:4.21	-6:20:44.43
9*	GSC 4778:1116	5:36:6.07	-6:19:38.95
10*	GSC 4778:1129	5:35:59.23	-6:16:30.18

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión			
#	NOMBRE	RA	DEC
11	GCVS BB Ori	5:36:14.4	-6:17:35
12	GSC 4778:1119	5:36:10.3	-6:20:1
13*	GSC 4778:1112	5:36:24.9	-6:17:32
14*	GSC 4778:1118	5:36:32.3	-6:19:19
15*	GSC 4778:1108	5:36:5	-6:29:32
16*	GSC 4778:1131	5:36:20.8	-6:31:10
17	GSC 4778:1097	5:37:18.34	-6:26:12.17
18	GSC 4778:1133	5:37:25.2	-6:33:12
19	GSC 4778:1087	5:37:13.263	-6:35:0.58
20	GSC 4778:1113	5:37:27.8	-6:35:56
21	GSC 4778:1077	5:37:15.6	-6:36:28
22	GCVS V658 Ori	5:36:39.1	-6:30:7
23	GCVS BE Ori	5:37:0.1	-6:33:26
24	GCVS V990 Ori	5:36:26.2	-6:26:24
25r	GSC 4778:1082	5:36:37.82	-6:25:30.37
26	GSC 4778:1123	5:35:55.5	-6:15:56
27	GSC 4778:1134	5:36:18.2	-6:13:59
28	GSC 4778:1107	5:35:34.83	-6:21:51.01
29	GSC 4778:1091	5:35:40.9	-6:26:50
30	GSC 4778:1126	5:35:47.3	-6:31:31
31	GSC 4778:1080	5:37:0	-6:33:28
32	GSC 4778:1110	5:36:15	-6:17:36
33	GSC 4778:1119	5:36:10.3	-6:20:1
34	GCVS V0658 Ori	5:36:41	-6:30:9
35	GCVS V0805 Ori	5:35:37	-6:16:31
36	USNO Star	5:35:56.72	-6:23:54.71
37r	GSC 4774:873	5:36:38	-5:28:35
38*	GSC 4774:855	5:36:27.17	-5:24:31.34
39*	GSC 4774:904	5:36:32	-5:23:45

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión			
#	NOMBRE	RA	DEC
40*	GSC 4774:799	5:36:39.36	-5:19:52.17
41*	GSC 4774:806	5:36:48.3	-5:28:57
42	GSC 4774:764	5:37:2.3	-5:36:29
43	GSC 4774:765	5:37:19.8	-5:32:20
44	GSC 4775:339	5:37:31.3	-5:18:13
45*	GSC 4774:879	5:36:9.5	-5:27:51
46*	USNO Star	5:36:41.88	-5:35:5.79
47	GSC 4774:776	5:37:29.2	-5:23:44
48r	GSC 4774:873	5:36:38	-5:28:35
49	GSC 4774:867	5:35:58.54	-5:22:31.36
50	GCVS V502 Ori	5:36:10.5	-5:19:47
51	GSC 4774:863	5:35:42.8	-5:20:13
52	GCS 4774:893	5:35:47.4	-5:16:58
53	GCVS OT Ori	5:35:50.6	-5:16:33
54	GSC 4774:838	5:36:1.8	-5:17:36
55	GCVS T Ori	5:35:50.3	-5:28:39
56	GCS 4774:825	5:35:44.4	-5:32:15
57	GCVS V381 Ori	5:37:2.2	-5:36:32
58	GCVS V1618 Ori	5:36:35	-5:32:14
59	GSC 4774:778	5:37:3	-5:24:14
60	GSC 4778:1369	5:35:54.08	-5:37:42.44
61	GCVS OR Ori	5:35:43.2	-5:36:33
62r	GSC 4774:863	5:35:42.8	-5:20:13
63	GCVS LP Ori	5:35:9.4	-5:27:54
64	GSC 4774:896	5:35:21.2	-5:12:12
65	GSC 4774:803	5:35:29.9	-5:13:14
66	GSC 4774:807	5:35:26.2	-5:15:11
67	GSC 4774:829	5:35:35.79	-5:12:20.43
68	GSC 4774:907	5:35:31.365	-5:16:2.582

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión			
#	NOMBRE	RA	DEC
69	GSC 4774:862	5:35:43	-5:13:46
70	GCVS MR Ori	5:35:16.5	-5:21:43
71	GSC 4774:934	5:35:26.4	-5:25:0.78
72	GSC 4774:935	5:35:31.43	-5:25:16.36
73	GCVS V1073 Ori	5:35:28.4	-5:26:20
74	GSC 4774:881	5:35:26.1	-5:27:36
75	GSC 4774:890	5:35:31.35	-5:33:9.6
76	GSC 4774:882	5:35:41.9	-5:28:12
77	GSC 4774:866	5:35:50.3	-5:28:35
78	GSC 4774:867	5:35:58.54	-5:22:31.36
79	GSC 4774:855	5:36:37.17	-5:24:31.34
80	GSC 4774:904	5:36:32	-5:23:45
81	GSC 4774:873	5:36:38	-5:28:35
82	GSC 4774:893	5:35:47.4	-5:16:58
83	GSC 4774:889	5:35:32.3	-5:31:11
84	GSC 4778:879	5:36:9.5	-5:27:51
85r	GSC 4779:413	5:37:49.16	-6:25:52.02
86	GSC 4779:370	5:37:49.37	-6:28:36.4
87	SAO 132388	5:38:1.73	-6:23:38.12
88	GSC 4779:412	5:38:8.11	-6:25:42.76
89	GSC 4779:234	5:38:14	-6:18:58
90	GSC 4779:335	5:37:41.48	-6:33:57.31
91	GSC 4779:465	5:37:34.5	-6:23:12
92	GSC 4779:289	5:37:34	-6:20:7
93	GSC 4778:1097	5:37:18.34	-6:26:12.17
94	GSC 4779:410	5:38:29.35	-6:25:40.88
95	GSC 4779:230	5:38:32.3	-6:19:6
96	SAO 132405	5:38:37.973	-6:34:26.251
97	GSC 4779:353	5:38:40.79	-6:37:6.96

Tabla 1 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión			
#	NOMBRE	RA	DEC
98	GSC 4779:697	5:38:34.04	-6:34:8.27
99	GSC 4779:422	5:38:23.6	-6:37:43
100	GSC 4779:358	5:38:2.8	-6:28:27
101	GSC 4779:348	5:37:38.2	-6:33:15
102	GSC 4779:352	5:38:0.3	-6:32:41
103	GSC 4779:254	5:38:11.6	-6:20:10
104	GSC 4779:227	5:38:39.5	-6:18:11
105	GSC 4779:390	5:37:55.7	-6:24:43

Tabla de las coordenadas ecuatoriales del cúmulo del Trapecio. Rótulo numérico (#), nombre del catálogo GSC y USNO, ascensión recta en h:mm:ss (RA), declinación en d:mm:ss (DE).

B2. Índice de color de las estrellas de cúmulo del Trapecio

Tabla 2: Tabla para el índice de color del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión.

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
1r*	10.320	0.102	1206.630	10.116	0.048	1386.935	0.204	0.090
2*	8.855	0.124	4154.807	9.041	0.074	3045.351	-0.186	0.144
3*	13.207	0.021	83.141	12.619	0.054	119.573	0.588	0.058
4*	12.193	0.019	198.697	11.180	0.058	447.732	1.013	0.061
5*	11.172	0.022	548.787	10.687	0.057	765.793	0.485	0.061
6*	13.672	0.030	54.022	13.008	0.065	95.051	0.665	0.071
7*	11.009	0.020	625.981	10.645	0.058	824.627	0.364	0.061
8*	10.472	0.016	942.427	10.235	0.036	1192.867	0.237	0.040
9*	10.221	0.027	1267.835	9.909	0.021	1614.535	0.312	0.035
10*	8.854	0.125	2933.989	9.036	0.067	1498.539	-0.182	0.141
11	14.591	0.065	23.643	13.504	0.102	59.507	1.087	0.121
12	14.780	0.047	20.723	13.872	0.138	45.810	0.908	0.146

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
13*	12.336	0.025	184.031	11.437	0.067	396.061	0.899	0.072
14*	13.843	0.043	42.264	13.000	0.062	91.926	0.843	0.076
15*	15.033	0.051	14.967	14.271	0.067	28.519	0.763	0.084
16*	14.747	0.059	18.812	13.793	0.061	42.498	0.954	0.085
17	10.836	0.018	527.411	10.451	0.053	396.048	0.385	0.056
18	14.310	0.044	26.267	13.412	0.124	57.376	0.897	0.132
19	9.668	0.064	1946.410	9.715	0.068	1974.424	-0.047	0.093
20	14.813	0.123	11.748	13.770	0.369	11.595	1.043	0.389
21	14.583	0.097	16.351	13.476	0.110	40.643	1.107	0.147
22	15.466	0.135	10.438	14.400	0.076	28.291	1.066	0.155
23	14.795	0.090	25.427	13.595	0.027	69.203	1.200	0.094
24	15.937	0.144	10.827	14.579	0.033	37.172	1.358	0.147
25r	10.320	0.102	1169.561	10.116	0.048	1284.430	0.204	0.090
26	13.544	0.044	45.614	12.976	0.072	76.170	0.567	0.085
27	13.903	0.048	20.591	13.168	0.083	49.799	0.735	0.096
28	10.777	0.033	773.613	10.357	0.066	995.361	0.420	0.074
29	14.187	0.049	31.204	13.372	0.096	60.081	0.815	0.108
30	13.255	0.028	57.159	12.517	0.083	138.223	0.738	0.087
31	14.375	0.596	10.438	13.262	0.438	26.377	1.113	0.739
32	14.710	0.048	20.015	13.582	0.069	51.182	1.128	0.084
33	14.780	0.064	17.027	13.904	0.062	37.613	0.876	0.089
34	15.305	0.169	14.576	14.267	0.266	32.057	1.038	0.315
35	15.316	0.145	14.226	14.397	0.250	30.929	0.920	0.289
36	15.220	0.042	16.044	14.428	0.274	29.400	0.792	0.277
37r	11.301	0.055	481.095	10.580	0.023	1127.180	0.721	0.050
38*	9.554	0.166	2607.567	9.563	0.129	2461.880	-0.009	0.210
39*	12.050	0.022	285.803	11.330	0.045	532.195	0.720	0.050
40*	11.042	0.010	680.288	10.690	0.011	645.859	0.352	0.015
41*	11.868	0.018	321.166	11.102	0.037	658.983	0.766	0.041

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
42	13.356	0.132	56.065	12.521	0.011	144.735	0.835	0.133
43	12.979	0.026	104.710	11.978	0.021	323.672	1.002	0.034
44	12.176	0.024	221.637	11.637	0.034	450.967	0.539	0.042
45*	13.417	0.078	72.147	12.713	0.054	158.520	0.704	0.094
46*	14.420	0.056	33.070	13.639	0.030	74.580	0.780	0.064
47	15.151	0.974	24.919	13.686	0.019	86.806	1.465	0.974
48r	11.301	0.055	611.093	10.580	0.023	975.259	0.721	0.050
49	9.617	0.336	1408.315	9.633	0.232	957.604	-0.016	0.408
50	14.976	0.093	20.399	13.936	0.086	45.687	1.040	0.127
51	12.231	0.046	81.626	11.292	0.114	136.980	0.939	0.122
52	13.502	0.045	81.148	12.638	0.135	132.662	0.864	0.142
53	15.240	0.087	16.716	14.008	0.107	34.743	1.232	0.138
54	14.501	0.044	30.603	13.276	0.097	67.869	1.225	0.106
55	11.440	0.016	71.577	10.788	0.083	98.863	0.651	0.084
56	13.575	0.047	12.276	12.735	0.137	18.689	0.840	0.145
57	13.319	0.026	89.814	12.454	0.072	146.600	0.865	0.076
58	15.607	0.214	11.793	14.501	0.117	28.176	1.106	0.244
59	15.431	0.062	13.993	14.237	0.084	35.955	1.195	0.105
60	8.740	0.389	3441.240	8.803	0.259	2969.734	-0.063	0.468
61	14.283	0.176	22.542	13.129	0.148	90.011	1.154	0.230
62r	12.135	0.032	45.685	11.197	0.016	75.738	0.938	0.028
63	8.697	0.093	580.151	8.357	0.045	552.377	0.340	0.104
64	12.003	0.024	59.540	10.921	0.019	104.655	1.083	0.031
65	12.550	0.034	33.901	11.761	0.040	48.351	0.789	0.052
66	12.527	0.072	18.688	11.626	0.059	32.992	0.901	0.093
67	10.085	0.029	334.656	9.809	0.015	302.759	0.276	0.033
68	7.419	0.071	1184.253	7.256	0.150	1344.302	0.163	0.166
69	12.189	0.058	41.878	11.415	0.037	50.430	0.774	0.069
70	10.927	0.060	15.305	10.425	0.033	12.235	0.503	0.068

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
71	7.024	0.135	718.460	7.016	0.163	633.781	0.008	0.211
72	8.387	0.045	469.676	8.136	0.027	466.236	0.251	0.052
73	9.726	0.059	125.796	9.475	0.034	127.686	0.252	0.068
74	12.503	0.091	12.799	11.599	0.058	23.802	0.904	0.108
75	10.340	0.080	81.703	9.769	0.043	77.787	0.571	0.091
76	12.451	0.034	29.590	11.419	0.057	52.040	1.032	0.067
77	11.892	0.068	39.855	11.166	0.032	51.806	0.726	0.075
78	9.146	0.014	812.519	8.937	0.016	678.303	0.209	0.021
79	9.313	0.034	678.210	9.115	0.026	620.760	0.198	0.043
80	11.992	0.041	63.206	11.238	0.031	85.504	0.754	0.052
81	11.237	0.196	75.899	10.495	0.125	110.343	0.742	0.233
82	13.376	0.053	17.473	12.509	0.025	25.835	0.867	0.059
83	12.917	0.067	18.289	11.742	0.052	38.825	1.175	0.085
84	13.459	0.103	13.739	12.636	0.095	22.842	0.823	0.140
85r	11.260	0.148	192.683	10.884	0.043	261.268	0.376	0.142
86	9.827	0.017	703.403	9.488	0.010	910.409	0.339	0.019
87	8.906	0.091	1701.618	8.731	0.141	1656.161	0.175	0.168
88	9.958	0.020	650.554	9.775	0.013	639.969	0.184	0.024
89	11.793	0.023	121.628	11.276	0.020	180.051	0.517	0.031
90	10.855	0.019	275.551	10.475	0.002	348.252	0.380	0.019
91	11.830	0.031	116.460	11.305	0.017	174.603	0.526	0.036
92	11.703	0.016	134.823	11.182	0.021	198.425	0.521	0.027
93	11.167	0.016	142.704	10.664	0.024	221.749	0.503	0.029
94	10.604	0.025	366.421	10.269	0.017	446.002	0.334	0.030
95	12.093	0.036	91.738	11.514	0.026	128.883	0.579	0.044
96	7.408	0.230	4808.136	7.641	0.212	3333.750	-0.233	0.313
97	10.732	0.033	297.168	10.367	0.018	393.358	0.365	0.038
98	11.028	0.030	97.991	10.540	0.016	168.429	0.487	0.034
99	12.852	0.055	44.169	11.927	0.010	95.019	0.926	0.056

Tabla 2 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	B	$E_r B$	$SNRB$	V	$E_r V$	$SNRV$	$B - V$	$E_r(B - V)$
100	14.159	0.072	14.477	13.335	0.045	27.994	0.825	0.085
101	13.466	0.243	22.856	12.971	0.062	35.821	0.495	0.251
102	13.604	0.271	14.605	12.938	0.184	16.072	0.666	0.328
103	13.638	0.073	21.937	12.746	0.036	45.706	0.892	0.081
104	14.386	0.101	11.089	13.701	0.114	17.416	0.685	0.153
105	14.030	0.126	15.914	13.084	0.027	34.118	0.946	0.129

Tabla para el índice de color del cúmulo del Trapecio de la constelación de Orión. Rótulo numérico (#), magnitud aparente B y su respectivo error (B y $E_r B$), relación entre señal y ruido en azul ($SNRB$), magnitud aparente V y su respectivo error (V y $E_r V$), relación entre señal y ruido en visible ($SNRV$), índice de color y su error ($B - V$) y $E_r(B - V)$.

B3. Temperatura, magnitud absoluta, razón de luminosidad y razón de radio de las estrellas del cúmulo del Trapecio

Tabla 3: Tabla de valores para el cúmulo del Trapecio.

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	$Temperatura$	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
1r*	8132	691	2.042	0.048	13.016	0.250	1.835	0.312
2*	13261	3297	0.967	0.074	35.005	1.034	1.132	0.563
3*	6015	230	4.545	0.054	1.300	0.028	1.060	0.082
4*	4712	144	3.105	0.058	4.891	0.113	3.351	0.208
5*	6457	282	2.612	0.057	7.699	0.175	2.239	0.197
6*	5726	255	4.933	0.065	0.909	0.023	0.978	0.088
7*	7076	347	2.570	0.058	8.002	0.185	1.900	0.188
8*	7890	287	2.161	0.036	11.666	0.170	1.846	0.135
9*	7389	216	1.834	0.021	15.749	0.135	2.445	0.144
10*	13168	3178	0.962	0.067	35.154	0.942	1.150	0.555
11	4543	265	5.429	0.102	0.576	0.023	1.237	0.146

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
12	4975	388	5.797	0.138	0.411	0.023	0.871	0.138
13*	4999	192	3.362	0.067	3.860	0.104	2.645	0.207
14*	5155	216	4.926	0.062	0.916	0.023	1.212	0.103
15*	5396	266	6.196	0.067	0.284	0.008	0.616	0.061
16*	4855	215	5.718	0.061	0.442	0.011	0.948	0.085
17	6962	305	2.376	0.053	9.565	0.202	2.146	0.190
18	5003	355	5.338	0.124	0.627	0.031	1.064	0.153
19	10752	1333	1.640	0.068	18.829	0.514	1.263	0.313
20	4643	893	5.696	0.369	0.451	0.066	1.048	0.410
21	4501	316	5.402	0.110	0.591	0.026	1.277	0.182
22	4590	347	6.325	0.076	0.253	0.008	0.803	0.122
23	4309	185	5.520	0.027	0.530	0.006	1.319	0.114
24	4020	250	6.504	0.033	0.214	0.003	0.963	0.120
25	8132	691	2.042	0.048	13.016	0.250	1.835	0.312
26	6099	348	4.902	0.072	0.936	0.027	0.875	0.101
27	5485	315	5.094	0.083	0.785	0.026	0.990	0.115
28	6774	382	2.282	0.066	10.429	0.277	2.367	0.269
29	5235	320	5.298	0.096	0.650	0.025	0.990	0.122
30	5476	284	4.443	0.083	1.428	0.047	1.341	0.141
31	4487	1580	5.188	0.438	0.719	0.126	1.417	1.006
32	4455	176	5.508	0.069	0.536	0.015	1.241	0.100
33	5061	246	5.829	0.062	0.399	0.010	0.829	0.081
34	4654	726	6.193	0.266	0.285	0.030	0.830	0.263
35	4944	757	6.322	0.250	0.253	0.025	0.693	0.215
36	5306	843	6.353	0.274	0.246	0.027	0.593	0.191
37	5531	166	2.506	0.023	8.493	0.078	3.205	0.193
38	10239	2685	1.488	0.129	21.658	1.116	1.493	0.784
39	5534	167	3.256	0.045	4.257	0.076	2.266	0.138
40	7147	85	2.615	0.011	7.677	0.033	1.825	0.044

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
41	5385	128	3.027	0.037	5.254	0.077	2.660	0.128
42	5179	384	4.447	0.011	1.423	0.006	1.497	0.222
43	4739	81	3.903	0.021	2.347	0.020	2.295	0.079
44	6216	178	3.562	0.034	3.211	0.043	1.560	0.090
45	5589	321	4.638	0.054	1.193	0.026	1.176	0.136
46	5341	198	5.565	0.030	0.509	0.006	0.841	0.062
47	3847	1508	5.611	0.019	0.487	0.004	1.587	1.244
48	5531	166	2.506	0.023	8.493	0.078	3.205	0.193
49	10332	5321	1.559	0.232	20.301	1.880	1.420	1.464
50	4649	292	5.862	0.086	0.387	0.013	0.968	0.123
51	4895	314	3.218	0.114	4.410	0.200	2.948	0.385
52	5095	396	4.564	0.135	1.278	0.069	1.465	0.231
53	4247	262	5.933	0.107	0.362	0.015	1.123	0.141
54	4260	204	5.201	0.097	0.711	0.028	1.562	0.152
55	5773	308	2.714	0.083	7.012	0.232	2.673	0.289
56	5162	416	4.660	0.137	1.169	0.064	1.365	0.223
57	5093	213	4.380	0.072	1.513	0.043	1.596	0.136
58	4502	525	6.427	0.117	0.230	0.011	0.796	0.187
59	4319	207	6.162	0.084	0.293	0.010	0.977	0.095
60	10983	6996	0.729	0.259	43.577	4.512	1.841	2.347
61	4401	472	5.054	0.148	0.813	0.048	1.566	0.339
62	4897	72	3.123	0.016	4.813	0.031	3.078	0.091
63	7217	612	0.282	0.045	65.716	1.176	5.236	0.890
64	4553	69	2.846	0.019	6.207	0.048	4.043	0.123
65	5314	160	3.686	0.040	2.865	0.045	2.016	0.123
66	4994	250	3.551	0.059	3.244	0.077	2.430	0.245
67	7617	219	1.735	0.015	17.263	0.101	2.409	0.139
68	8463	1395	-0.818	0.150	180.947	10.881	6.319	2.092
69	5360	213	3.341	0.037	3.938	0.058	2.323	0.186

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
70	6376	309	2.350	0.033	9.798	0.128	2.590	0.252
71	10022	2577	-1.058	0.163	225.670	14.682	5.032	2.593
72	7787	364	0.062	0.027	80.508	0.856	4.978	0.466
73	7784	474	1.400	0.034	23.483	0.315	2.690	0.328
74	4986	289	3.524	0.058	3.325	0.077	2.467	0.287
75	6082	371	1.694	0.043	17.920	0.310	3.850	0.471
76	4667	155	3.345	0.057	3.924	0.090	3.059	0.206
77	5513	249	3.091	0.032	4.954	0.063	2.464	0.223
78	8094	160	0.863	0.016	38.507	0.244	3.186	0.127
79	8179	331	1.041	0.026	32.695	0.341	2.876	0.233
80	5422	165	3.164	0.031	4.635	0.058	2.463	0.151
81	5462	754	2.420	0.125	9.187	0.459	3.418	0.948
82	5088	164	4.435	0.025	1.439	0.014	1.559	0.101
83	4358	171	3.668	0.052	2.914	0.061	3.023	0.239
84	5212	410	4.561	0.095	1.281	0.048	1.402	0.222
85	7011	788	2.810	0.043	6.420	0.110	1.734	0.390
86	7225	114	1.414	0.010	23.191	0.090	3.103	0.098
87	8362	1374	0.657	0.141	46.562	2.633	3.283	1.083
88	8291	192	1.700	0.013	17.821	0.092	2.066	0.096
89	6314	136	3.202	0.020	4.476	0.036	1.785	0.077
90	6987	104	2.400	0.002	9.356	0.009	2.107	0.063
91	6275	155	3.230	0.017	4.359	0.030	1.784	0.088
92	6296	117	3.108	0.021	4.879	0.042	1.875	0.070
93	6377	131	2.590	0.024	7.858	0.075	2.319	0.096
94	7250	179	2.195	0.017	11.303	0.076	2.152	0.106
95	6053	179	3.440	0.026	3.595	0.037	1.741	0.103
96	14431	8633	-0.433	0.212	126.963	10.744	1.820	2.179
97	7075	214	2.293	0.018	10.332	0.073	2.160	0.131
98	6447	156	2.466	0.016	8.809	0.057	2.403	0.116

Tabla 3 Continuación de la página anterior

Cúmulo del Trapecio de Orión								
#	<i>Temperatura</i>	$E_r T$	V	$E_r V$	L/L_s	$E_r L/L_s$	R/R_s	$E_r R/R_s$
99	4929	146	3.852	0.010	2.459	0.010	2.171	0.129
100	5208	249	5.260	0.045	0.673	0.012	1.018	0.098
101	6413	1147	4.896	0.062	0.941	0.023	0.793	0.284
102	5721	1173	4.863	0.184	0.970	0.071	1.012	0.417
103	5019	220	4.672	0.036	1.157	0.017	1.436	0.126
104	5653	533	5.627	0.114	0.480	0.022	0.729	0.138
105	4876	329	5.010	0.027	0.848	0.009	1.303	0.176

Tabla de valores para el cúmulo del Trapecio. Rótulo numérico (#), temperatura superficial de la estrella [K], magnitud absoluta, razón entre la luminosidad de la estrella y la del sol (L/L_s), razón entre el radio de la estrella y la del sol (R/R_s), cada uno con sus respectivos errores.

Anexo C. Tabla de constantes usadas

Según la XXIX asamblea general de la unión astronómica internacional IAU Inter-Division A-G Working Group on Nominal Units for Stellar & Planetary Astronomy (2015) define las constantes para las propiedades del sol como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1: Constantes físicas usadas en el presente trabajo.

Constantes físicas usadas para el sol		
Temperatura	=	5800 K
Magnitud absoluta	=	4.83
Luminosidad	=	$3,827 \times 10^{26}$ W
Radio	=	$6,957 \times 10^8$ m
Índice de color	=	0.656

Tabla 2: Constantes físicas usadas en el presente trabajo.

Constantes físicas usadas para los cúmulos		
Cúmulo	Trapezio	Híades
Distancia	= 412 parsecs	47 parsecs
Edad	= 3×10^5 años	$6,5 \times 10^7$ años

Anexo D. Imágenes capturadas para el proyecto

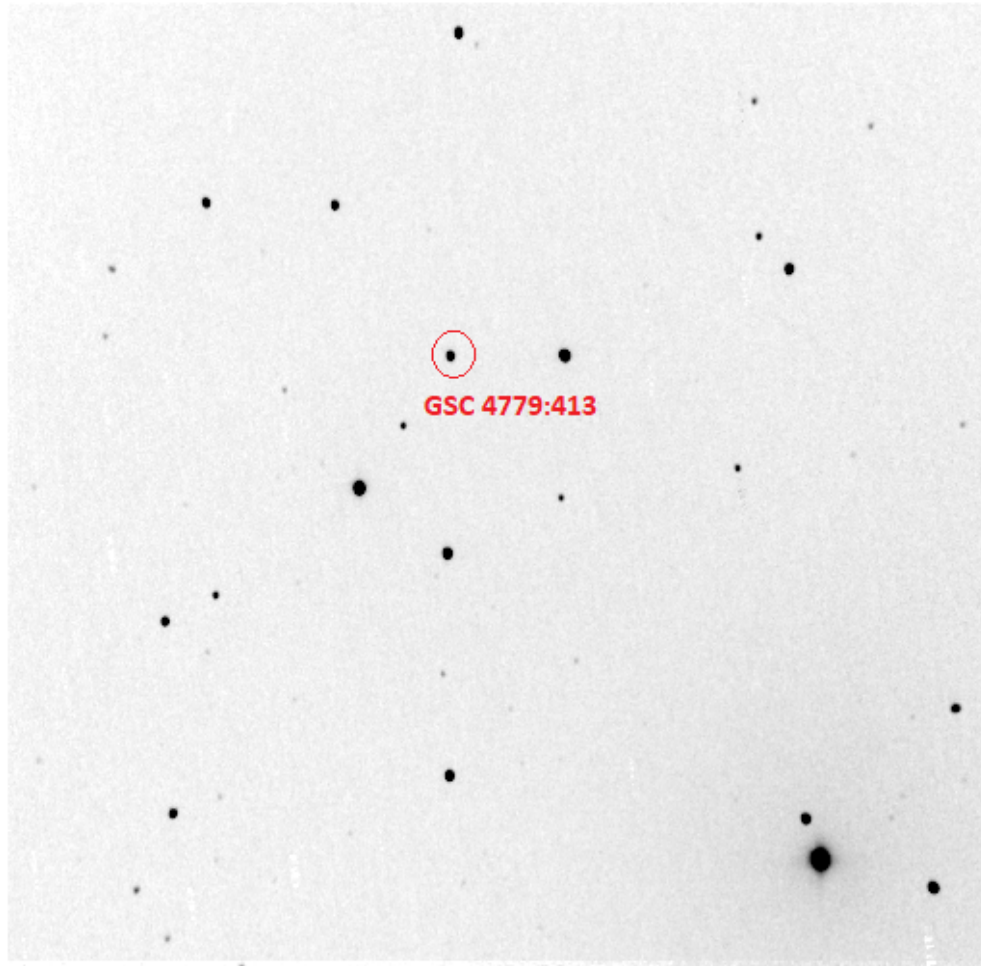


Figura 1: Fotografía del campo estelar que contiene a la estrella patrón GSC-4779-413. (Fuente: Esta investigación)

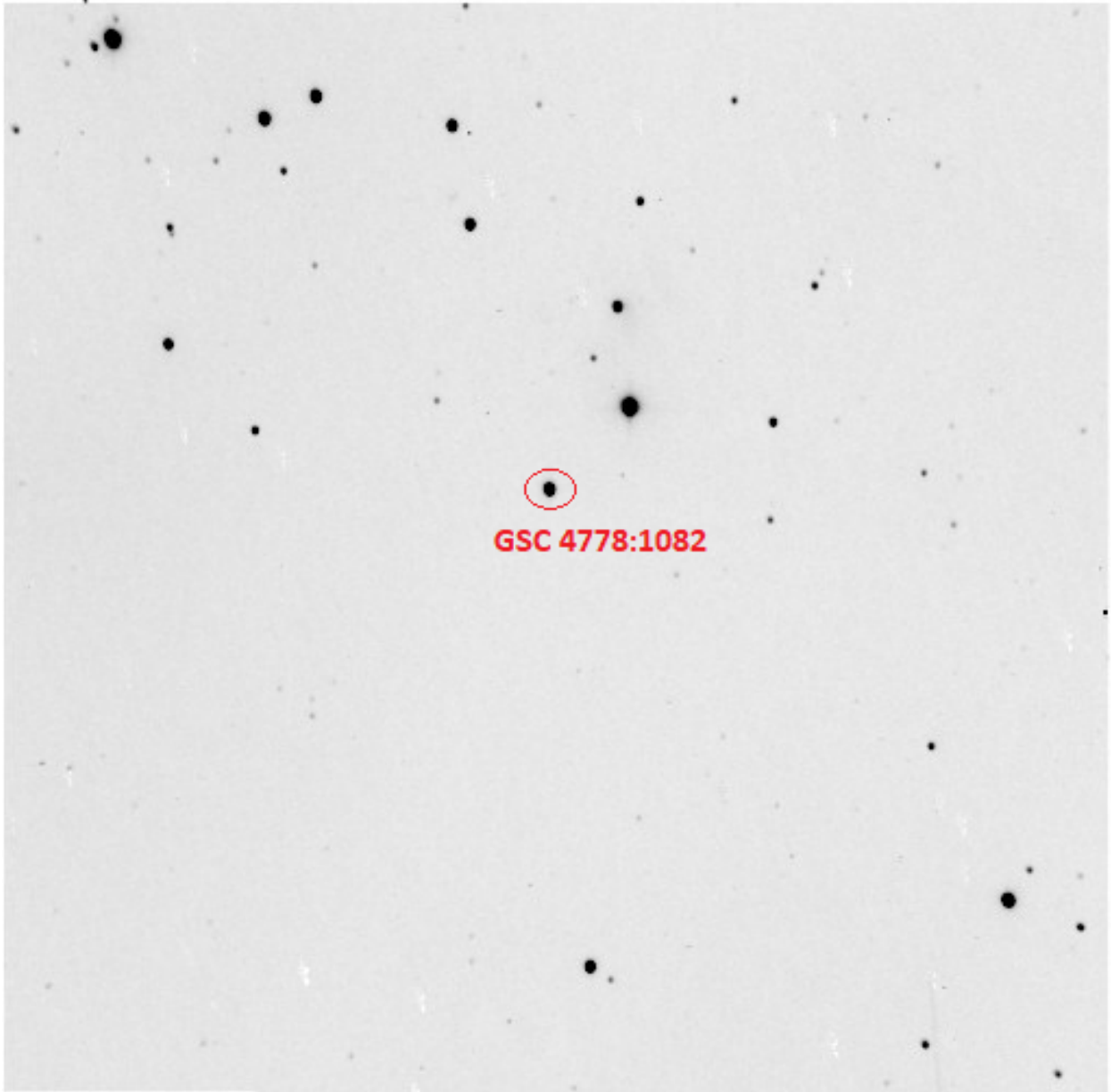


Figura 2: Fotografía del campo estelar que contiene a la estrella patrón GSC-4778-1082A. (Fuente: Esta investigación)

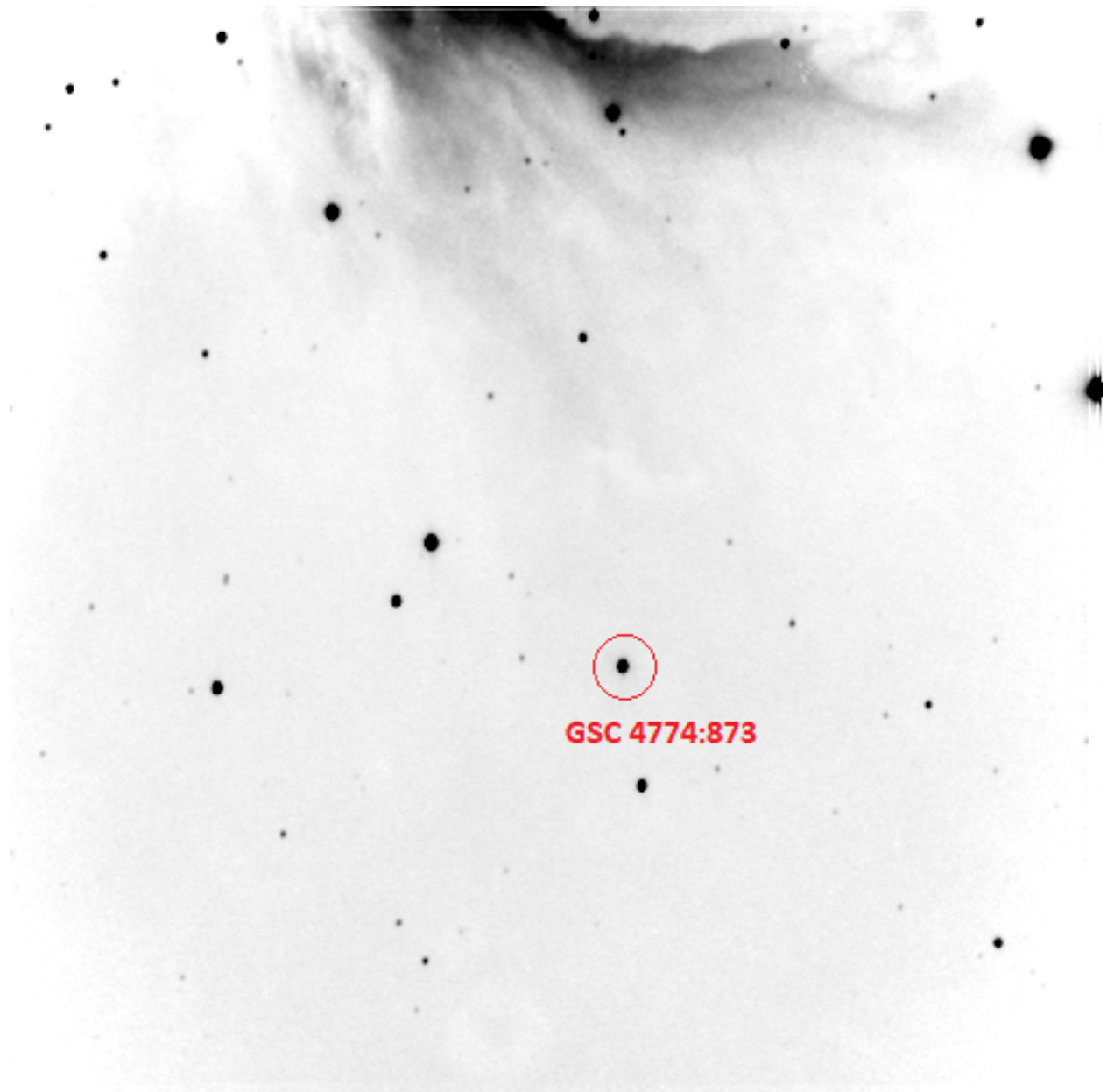


Figura 3: Fotografía del campo estelar que contiene a la estrella patrón GSC-4774-873. (Fuente: Esta investigación)

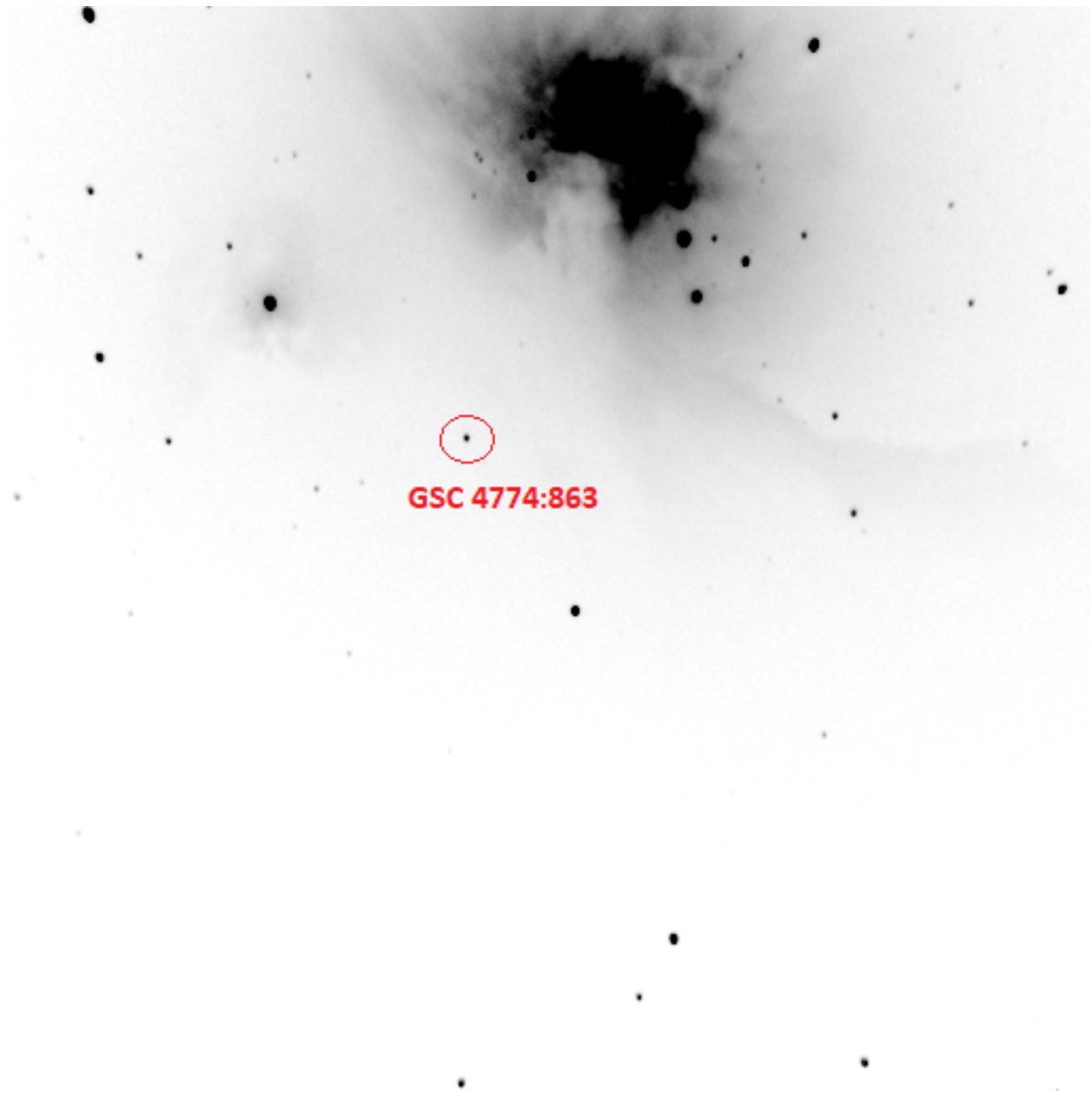


Figura 4: Fotografía del campo estelar que contiene a la estrella patrón GSC-4774-863. (Fuente: Esta investigación)

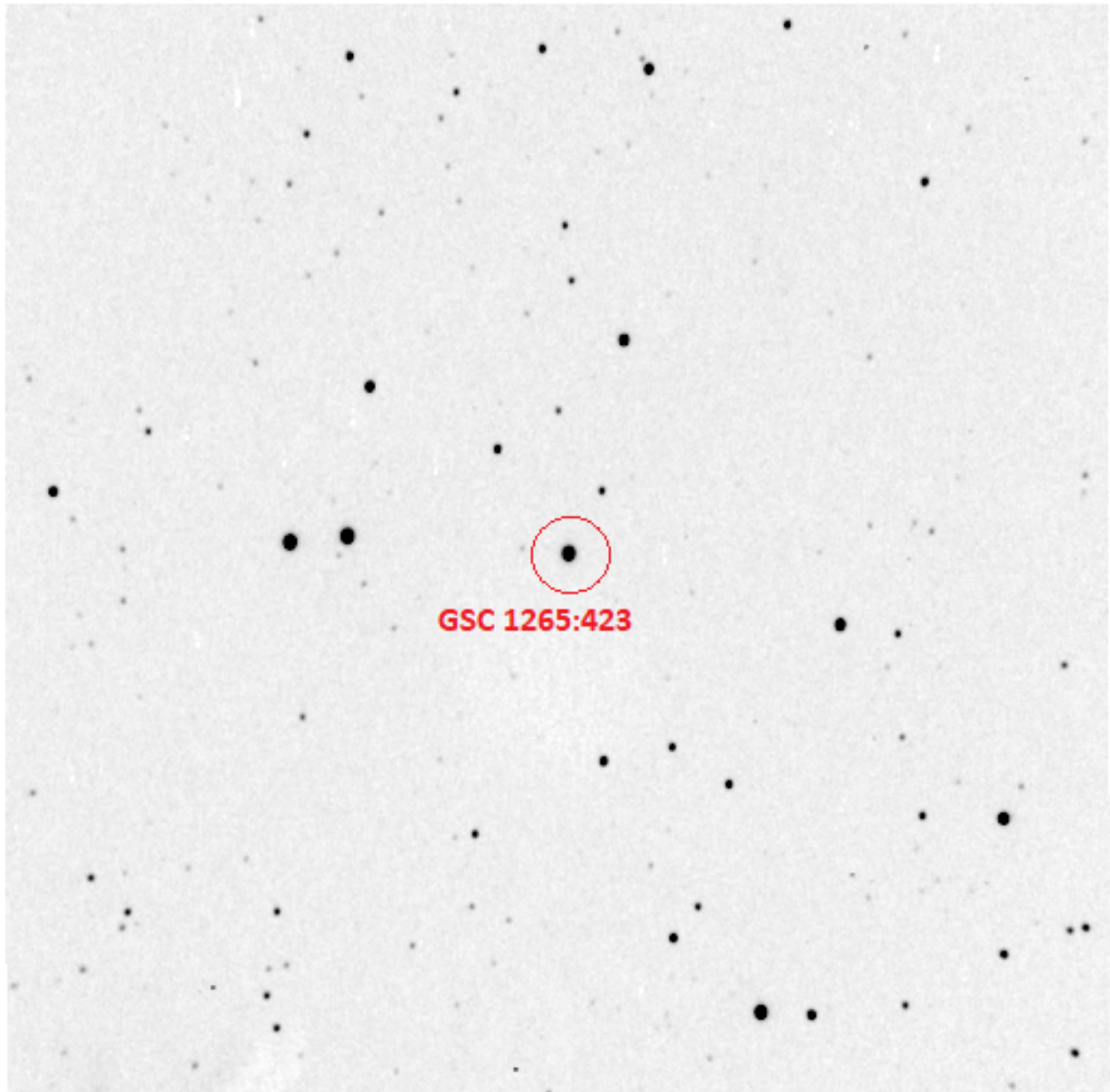


Figura 5: Fotografía del campo estelar que contiene a la estrella patrón GSC-1265-423. (Fuente: Esta investigación)



Figura 6: Fotografía del campo estelar que contiene a la estrella patrón GSC-1265-16. (Fuente: Esta investigación)