

Cúmulos Globulares

Pedro Villegas – pedrogvillegas@gmail.com

Sistemas Estelares (2021) – Práctica 04
Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas – UNLP
Profesoras: Lilia Bassino, Claudia Scóccola
JTP: Gabriel Ferrero
AD: Lucía Rizzo
AA: Tomás Ansín

Última modificación: 10 de diciembre de 2021

Ejercicios:

Distancia, metalicidad y edad de un cúmulo globular

Ejercicio 1.

Descargue del Classroom los datos fotométricos de las estrellas del cúmulo globular NGC 1261 ([Kravtsov et al. 2010](#)). Considere que los valores de las absorciones en las bandas fotométricas presentes en la tabla para ese cúmulo son los siguientes:

$$A_U = 0.062 \text{ mag}, A_B = 0.052 \text{ mag}, A_V = 0.039 \text{ mag}, A_I = 0.022 \text{ mag}$$

Estos valores fueron obtenidos de la base de datos ([NED](#)).

Utilizando esos datos, haga lo siguiente:

1. Seleccione solamente los objetos de la tabla cuya distancia al centro del cúmulo es mayor que 40 segundos de arco. Corrija por extinción los índices de color y las magnitudes de las estrellas dados en la tabla. Luego realice los diagramas color – magnitud: V_0 vs. $(B - V)_0$, I_0 vs. $(V - I)_0$ y V_0 vs. $(B - I)_0$.

Datos adicionales: la escala de las imágenes es 0.417 segundos de arco por pixel. El centro del cúmulo se encuentra aproximadamente en las coordenadas $x_c = 1075.6$; $y_c = 1157.8$ pixeles.

2. Describa detalladamente los diagramas, indicando las distintas estructuras, de acuerdo a lo desarrollado en las clases de teoría.
3. Estime la metalicidad total [m/H] de NGC 1261 por medio de dos métodos fotométricos diferentes:

- a) midiendo el índice $\Delta V_{1.4}$ y aplicando luego la relación

$$[m/H] = -0.280(\Delta V_{1.4})^2 + 0.717(\Delta V_{1.4}) - 0.918$$

- b) midiendo el índice S2.0 y aplicando luego la relación

$$[m/H] = -0.29(S2.0) + 0.53$$

Adopte el promedio de estas dos estimaciones como valor aproximado de la metalicidad total y obtenga el valor correspondiente de la fracción de masa Z, considerando $Z_\odot = 0.0152$.

Las relaciones 1) y 2) fueron tomadas de la Tabla 4 de [Ferraro et al. \(1999\)](#).

4. Estime el módulo de distancia del cúmulo empleando la magnitud V de la rama horizontal V(HB) y la relación:

$$M_V(HB) = 0.15[\text{Fe}/\text{H}] + 0.80,$$

donde [Fe/H] se puede obtener mediante la relación aproximada

$$[\text{Fe}/\text{H}] = [m/H] - 0.9[\alpha/\text{Fe}],$$

con $[\alpha/\text{Fe}] \sim 0.28$

5. Utilice las isócronas de 6.3, 8.3, 10.3 y 12.3 Giga años (1 Giga año = 10^9 años) que se encuentran en el Classroom y verifique los valores de Z y $(m - M)_V$ obtenidos. Además, estime la edad del cúmulo. Realice este procedimiento empleando los diagramas V_0 vs. $(B - V)_0$ y V_0 vs. $(B - I)_0$.

Las isocronas fueron obtenidas de la base de datos de isocronas y trayectorias evolutivas de Padua (PARSEC release v1.2S + COLIBRI release PR16, [Marigo et al. 2017](#)) disponibles en <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>.

Respuesta 1.

Realizaremos el siguiente análisis en base a los datos fotométricos del cúmulo globular NGC 1261 de Kravtsov et al. 2010.

- En la figura 1 podemos observar el cúmulo NGC 1261, en su totalidad de datos (izquierda) y los datos que vamos a utilizar en este archivo (derecha). Al gráfico de la derecha le hemos quitado los datos pertenecientes a las estrellas presentes en la región central del cúmulo, a una distancia de hasta 40 segundos de arco del centro, considerando el mismo en las coordenadas:

$$x_c = 1075.6 \quad y \quad y_c = 1157.8 \quad (1)$$

Y siendo la equivalencia $1\text{px} = 0.417''$. De esta forma la región a ignorar estará contenida en:

$$\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} < 40'' = (40/0.417) \text{ px} \quad (2)$$

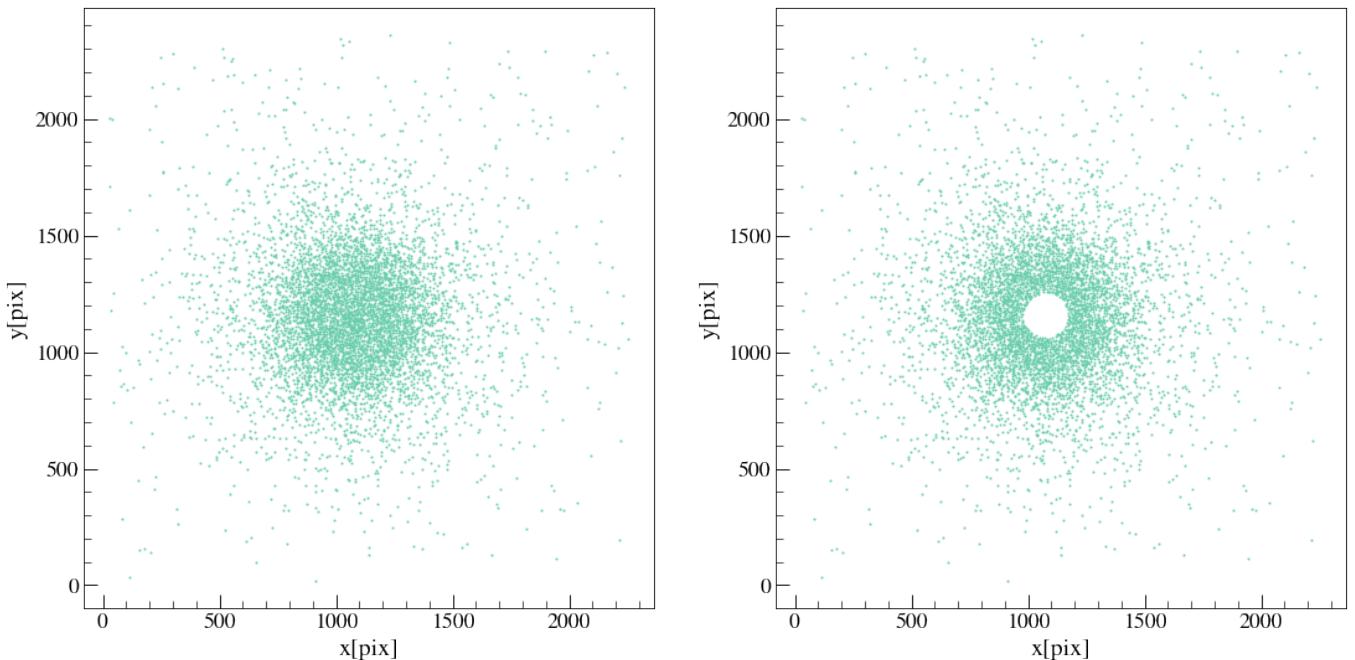


Figura 1: Cúmulo globular NGC 1261. A la izquierda puede observarse la totalidad del cúmulo, mientras que a la derecha la región a más de 40 segundos de arco del centro. Esa será la región que utilizaremos en este trabajo.

En la tabla de datos de Kravtsov et al. 2010 además de las coordenadas de cada estrella se encuentran también la magnitud visual V , y los colores $(U - B)$, $(B - V)$ y $(V - I)$. Utilizando las absorciones válidas para este cúmulo dadas en el enunciado, corregiremos por extinción las magnitudes V e I según el siguiente procedimiento:

$$V_0 = V - A_V = V - 0.039 \text{ mag} \quad (3)$$

$$I_0 = I - A_I = V - (V - I) - 0.022 \text{ mag} \quad (4)$$

$$(5)$$

Y los colores utilizando la siguiente relación entre el exceso de color y las absorciones en cada banda (aplicable para los distintos colores):

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 = (B - B_0) - (V - V_0) = A_B - A_V \quad (6)$$

De esta forma:

$$(U - B)_0 = (U - B) - E(U - B) = (U - B) - (A_U - A_B) \quad (7)$$

$$(B - V)_0 = (B - V) - E(B - V) = (B - V) - (A_B - A_V) \quad (8)$$

$$(V - I)_0 = (V - I) - E(V - I) = (V - I) - (A_V - A_I) \quad (9)$$

Y particularmente para calcular $(B - I)_0$:

$$(B - I)_0 = (B - V)_0 + (V - I)_0 \quad (10)$$

Habiendo realizado todas estas correcciones, pudimos obtener los diagramas color-magnitud de las figuras 2, 3 y 4.

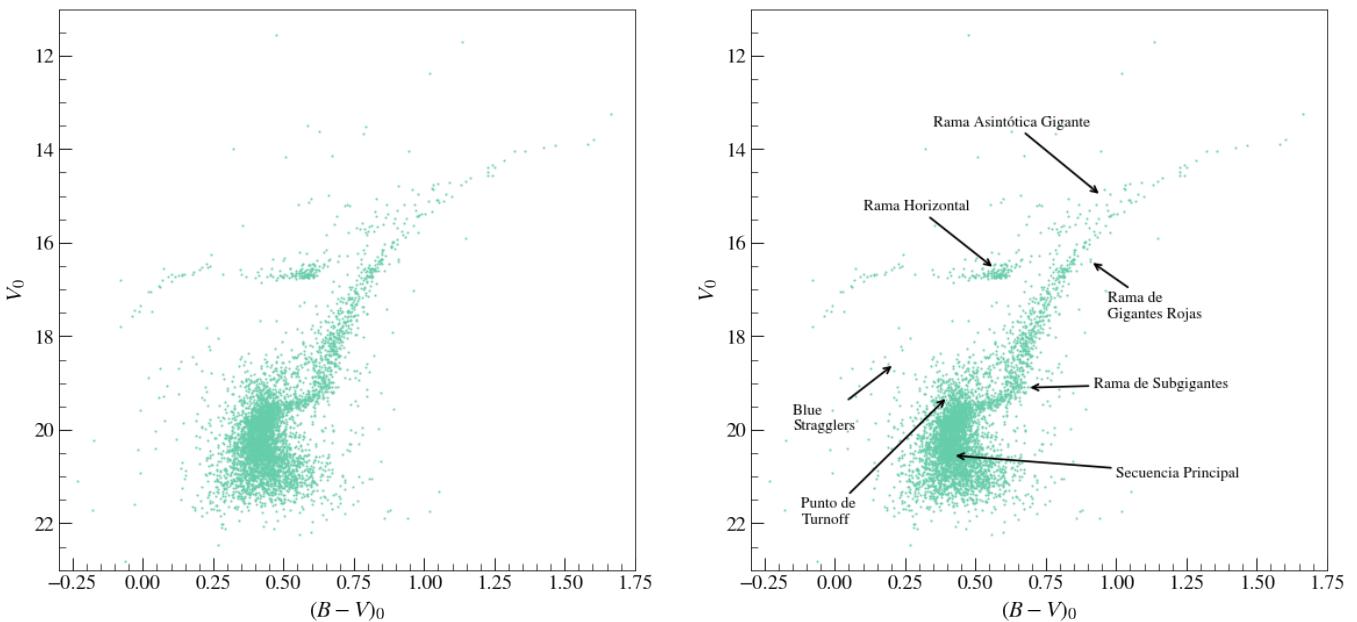


Figura 2: Diagrama color-magnitud V_0 vs $(B - V)_0$ y estructuras identificadas.

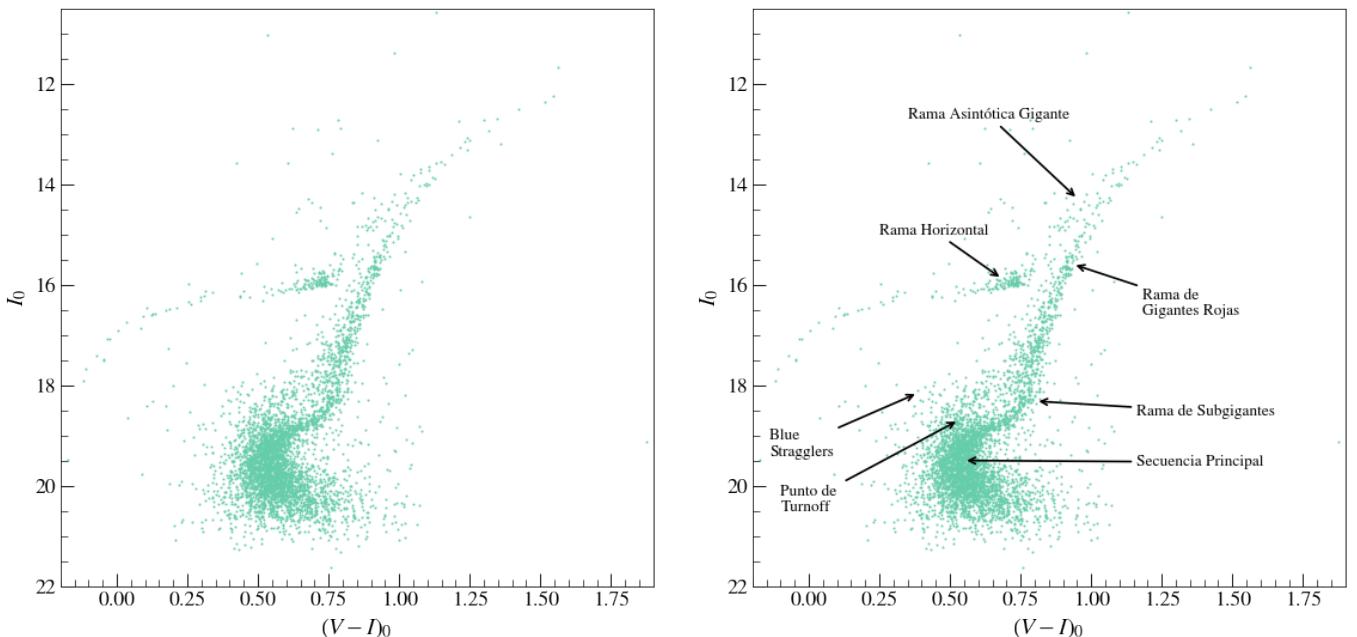


Figura 3: Diagrama color-magnitud I_0 vs $(V - I)_0$ y estructuras identificadas.

2. En las mismas figuras 2, 3 y 4 podemos ver, del lado derecho, las estructuras estelares identificadas según los lineamientos de la teoría.
3. Utilizaremos dos métodos diferentes para estimar la metalicidad total [m/H] del cúmulo, para luego tomar un promedio de los resultados y calcular la fracción de masa de metales del mismo.
 - a) El primer método que utilizaremos consta de medir el índice $\Delta V_{1.4}$ de la siguiente forma: a partir de la magnitud visual intrínseca de la rama horizontal, que estimamos como $V_0(\text{RH}) = 16.68$, y el color intrínseco $(B - V)_0 = 1.4$, trazamos una recta a color constante hasta intersectar con la rama asintótica de gigantes, tal como se ve en la figura 5. Así damos con el índice buscado:

$$\Delta V_{1.4} = V_0(\text{RH}) - V_0(\text{RA})_{(B-V)_0=1.4} = 16.68 - 13.98 = 2.7 \quad (11)$$

Ahora utilizando la relación del enunciado obtenemos la metalicidad total:

$$[\text{m}/\text{H}]_1 = -0.280(\Delta V_{1.4})^2 + 0.717(\Delta V_{1.4}) - 0.918 = -0.28 \cdot 2.7^2 + 0.717 \cdot 2.7 - 0.918 = -1.0232 \quad (12)$$

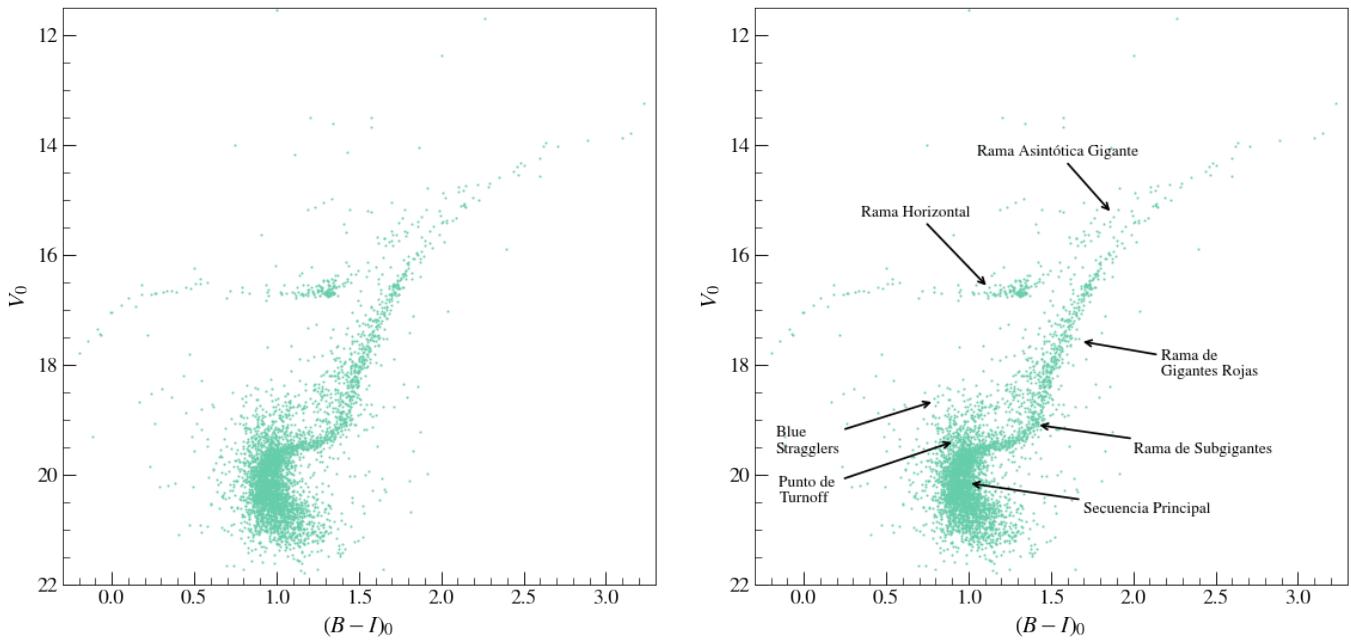


Figura 4: Diagrama color-magnitud I_0 vs $(B - I)_0$ y estructuras identificadas.

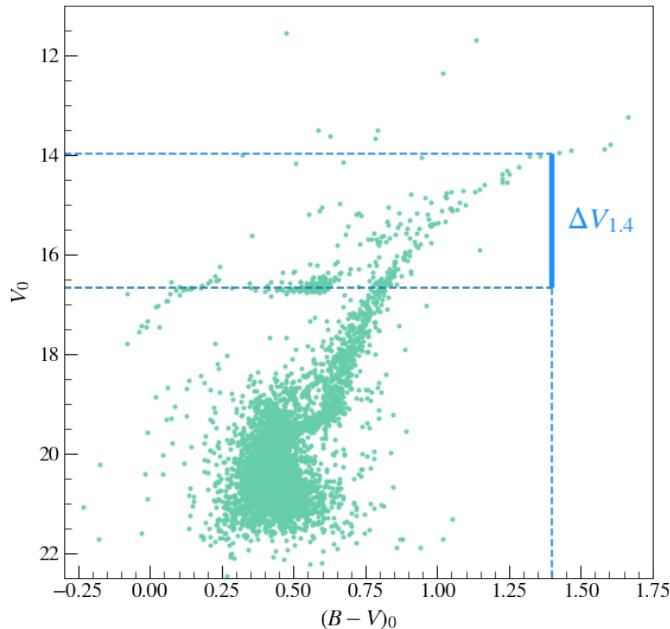


Figura 5: Método $\Delta V_{1.4}$ para la estimación de la metalicidad total.

- b) El segundo método a utilizar trata de medir el índice S2.0. Para obtenerlo, se procede de forma similar al método anterior: a partir de la magnitud visual intrínseca de la rama horizontal $V_0(\text{RH}) = 16.68$, se ubica el color intrínseco donde se intersecta con la rama de gigantes. Obtuvimos el valor $(B - V)_0 = 0.81$. Luego se restan dos magnitudes y se vuelve a buscar dicha intersección, obteniendo $(B - V)_0 = 1.15$. Todo esto podemos observarlo en la figura 6. Luego, así damos con el índice S2.0, como la pendiente de la rama de gigantes, estimada a partir de estos valores:

$$S2.0 = \tan \alpha = \frac{\Delta V}{\Delta(B - V)_0} = \frac{2}{1.15 - 0.81} = 5.8823 \quad (13)$$

Ahora para obtener la metalicidad total, aplicamos la ecuación del enunciado:

$$[\text{m}/\text{H}]_2 = -0.29(S2.0) + 0.53 = -0.29 \cdot 5.88 + 0.53 = -1.1758 \quad (14)$$

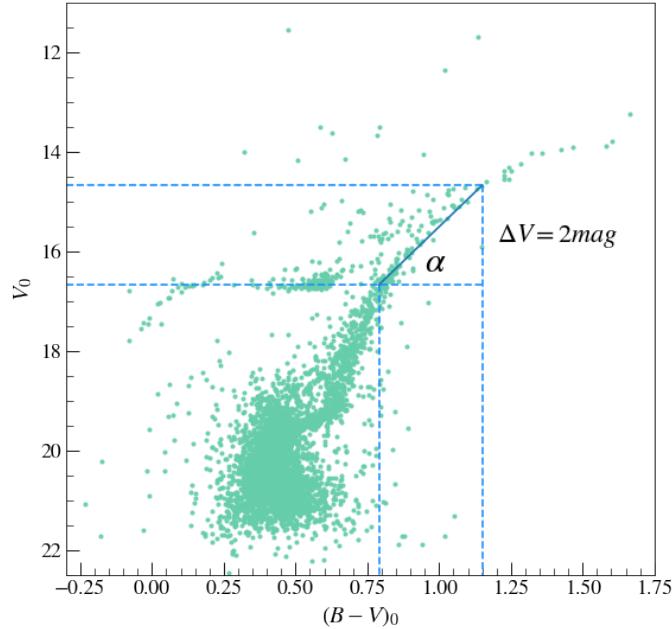


Figura 6: Método S2.0 para la estimación de la metalicidad total.

Podemos ver que si bien difieren, ambos métodos dan valores cercanos, por lo que a partir de ahora tomaremos el promedio entre ambos como el valor de la metalicidad total estimado:

$$[\text{m}/\text{H}] = \frac{[\text{m}/\text{H}]_1 + [\text{m}/\text{H}]_2}{2} = \frac{-1.0232 - 1.1758}{2} = -1.099 \quad (15)$$

Ahora, considerando la relación:

$$\left[\frac{\text{m}}{\text{H}} \right] = \log \left(\frac{Z}{Z_{\odot}} \right) \quad (16)$$

Podemos obtener la fracción de masa de metales del cúmulo, siendo $Z_{\odot} = 0.0152$. Así,

$$Z = Z_{\odot} 10^{[\text{m}/\text{H}]} = 0.0152 \cdot 10^{-1.099} = 0.0012 \quad (17)$$

- Para estimar el módulo de distancia del cúmulo utilizaremos la magnitud aparente intrínseca de la rama horizontal $V_0(\text{RH}) = 16.68$, y la abundancia del hierro $[\text{Fe}/\text{H}]$, la cual aproximamos utilizando la metalicidad total seg\xf3n:

$$[\text{Fe}/\text{H}] = [\text{m}/\text{H}] - 0.9[\alpha/\text{Fe}] \simeq -1.099 - 0.9 \cdot 0.28 = -1.351 \quad (18)$$

Luego calculamos la magnitud absoluta de la rama horizontal:

$$M_V(\text{RH}) = 0.15[\text{Fe}/\text{H}] + 0.8 = 0.5973 \quad (19)$$

Y de esta forma estimamos el módulo de distancia como:

$$V_0(\text{RH}) - M_V(\text{RH}) = 16.68 - 0.5973 = 16.0827 \quad (20)$$

As\xf3, la distancia nos dar\xf3:

$$d = 10^{1+(V_0(\text{RH})-M_V(\text{RH}))/5} = 16464.46 \text{ [pc]} \quad (21)$$

- Utilizando las isocronas de 6.3, 8.3, 10.3 y 12.3 Gyr provistas por la catedra procederemos a verificar y cuestionar los resultados de la fracci\xf3n de masa Z (ecuaci\xf3n 17) y $(m - M)_V$ (ecuaci\xf3n 20). Para esto, procederemos a graficarlas sobre los diagramas color-magnitud V_0 vs $(B - V)_0$ (figura 2) y V_0 vs $(B - I)_0$ (figura 4), como podemos ver en los diagramas 7 y 8. A partir de estos gráficos deducimos que, seg\xf3n las diferencias que se presentan especialmente en el punto de turn-off, la isocrona que mejor ajusta a los datos de nuestro c\xfumulo es la de 10.3 Gyr. A partir de ella, procedemos a comparar isocronas a distinta metalicidad. En la figura 9 comparamos la metalicidad obtenida en este trabajo con dos valores diferentes, que difieren en $\Delta Z = \pm 0.0005$ de nuestra metalicidad original.

Conclu\xedmos que el c\xfumulo NGC 1261 tendr\xf3 una edad de aproximadamente 10.3 Gyr y una fracci\xf3n de masa de metales $Z = 0.0012$, tal como hab\xfiamos calculado. Puesto que esta isocrona ajusta bien a los datos del c\xfumulo con el m\xf3dulo de distancia calculado en la ecuaci\xf3n 20, tomaremos tal resultado como apropiado.

□

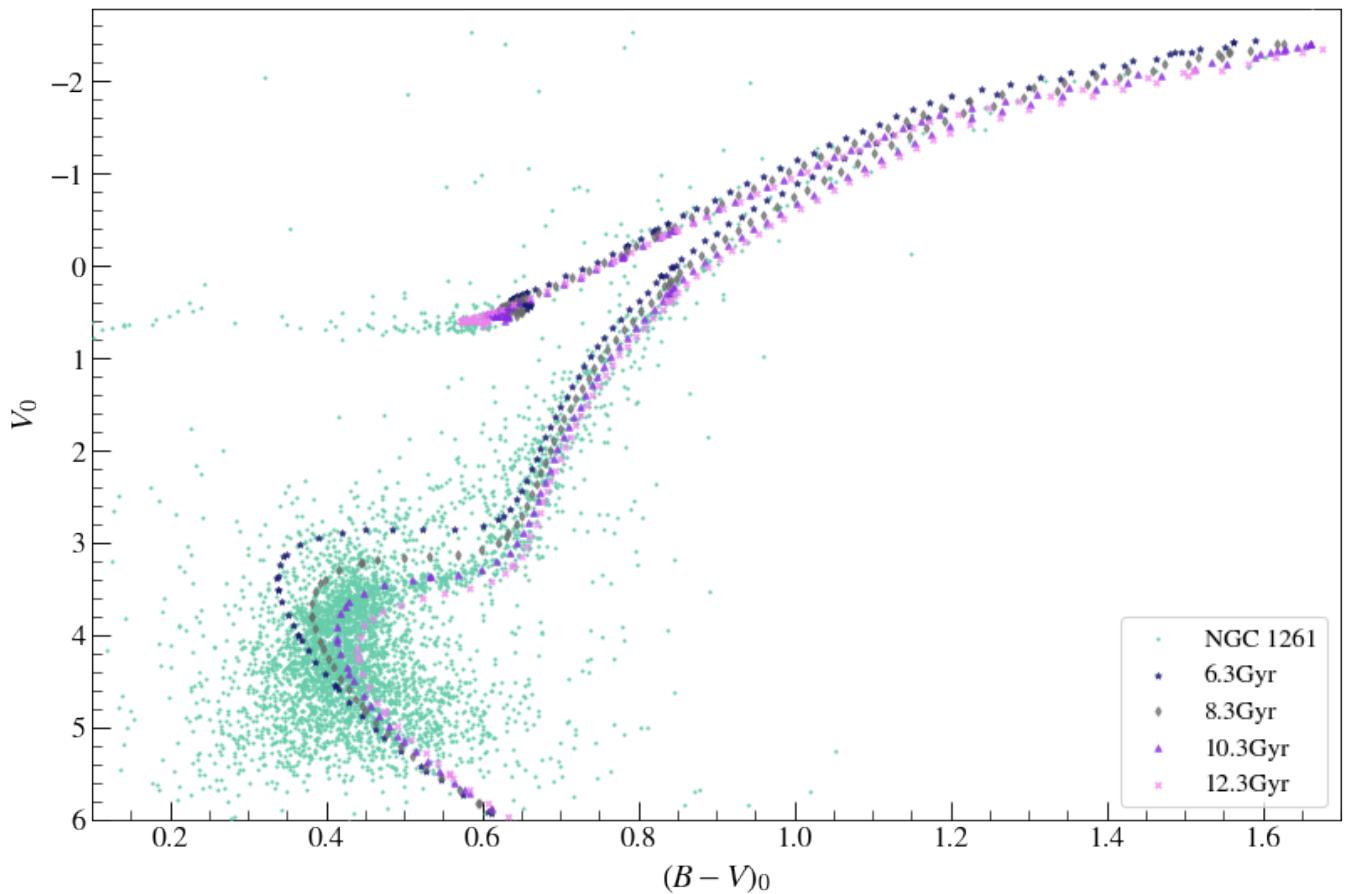


Figura 7: Diagrama V_0 vs $(B - V)_0$ de NGC 1261 con 4 isocronas de metalicidad $Z = 0.0012$.

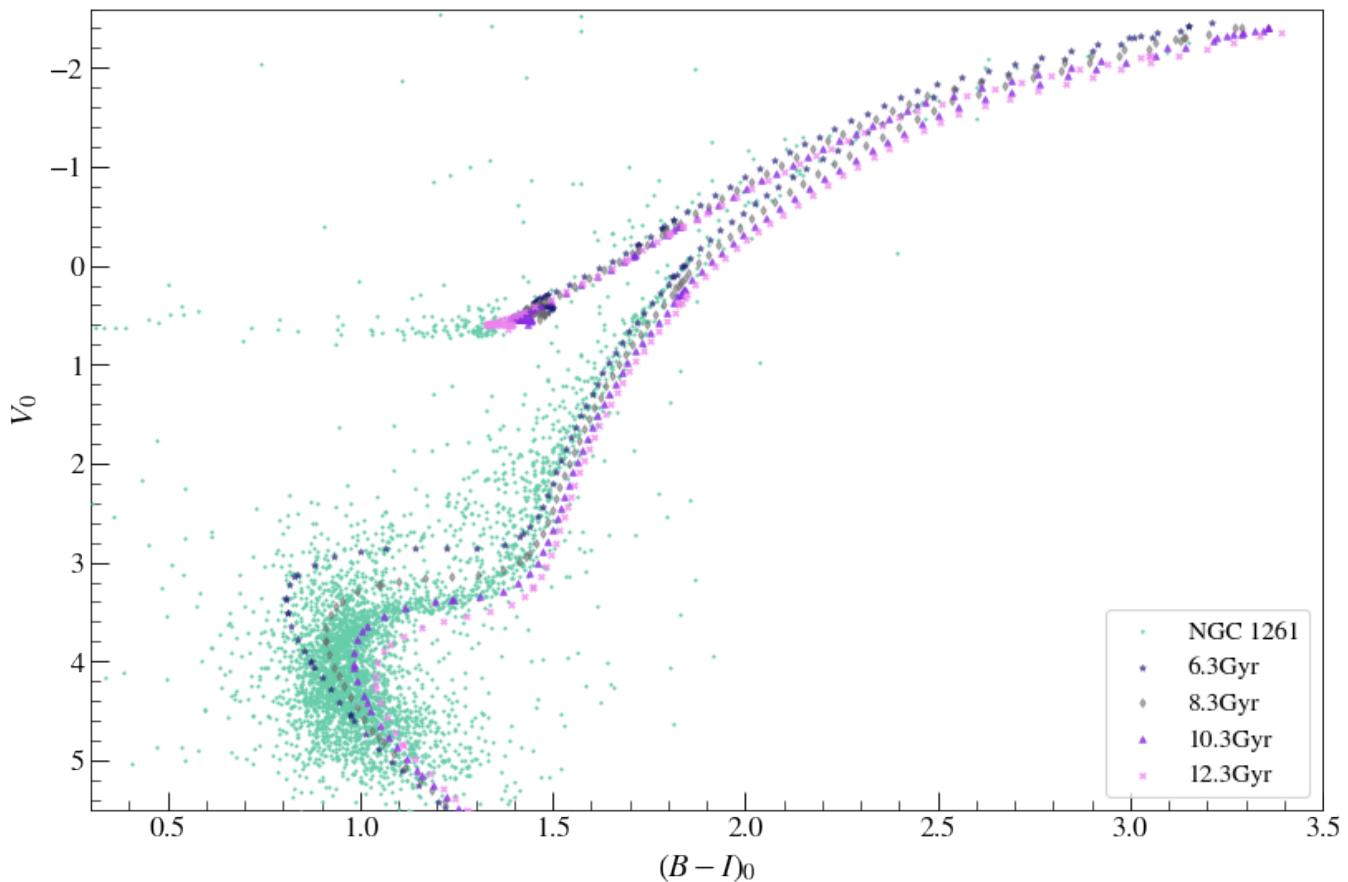


Figura 8: Diagrama V_0 vs $(B - I)_0$ de NGC 1261 con 4 isocronas de metalicidad $Z = 0.0012$.

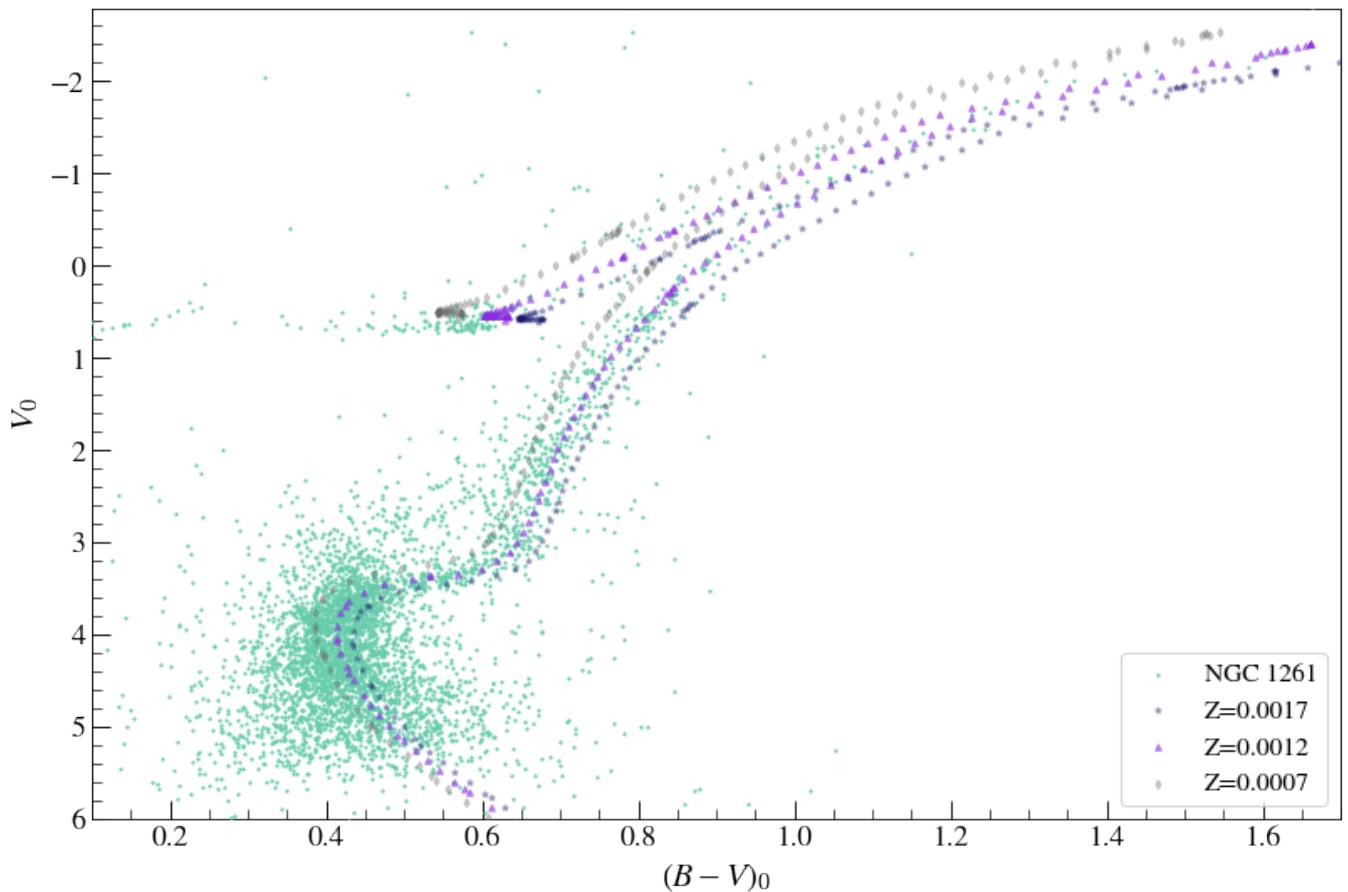


Figura 9: Diagrama V_0 vs $(B - V)_0$ de NGC 1261 con 3 isocronas de 10.3 Gyr con metalicidades diferentes. Notar que, según los resultados obtenidos, NGC 1261 se correspondería con la isocrona de $Z = 0.0012$.