

# Cúmulos Globulares

**Pedro Villegas** — [pedrovillegas@gmail.com](mailto:pedrovillegas@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  $S_{2.0}$  y aplicando luego la relación

$$[m/H] = -0.29(S_{2.0}) + 0.53$$

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:

$$M_V(HB) = 0.15[Fe/H] + 0.80,$$

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

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

con  $[\alpha/Fe] \sim 0.28$

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>.

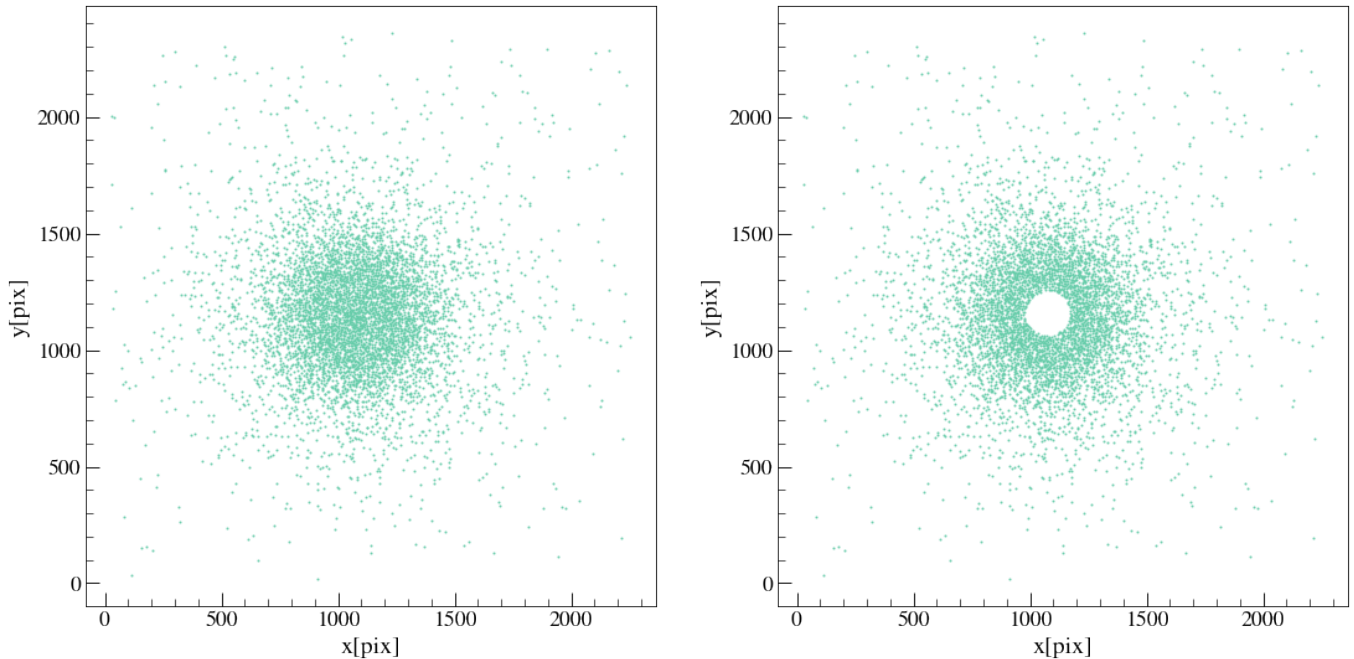
Realizaremos el siguiente análisis en base a los datos fotométricos del cúmulo globular NGC 1261 de [Kravtsov et al. 2010](#).

1. 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:

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

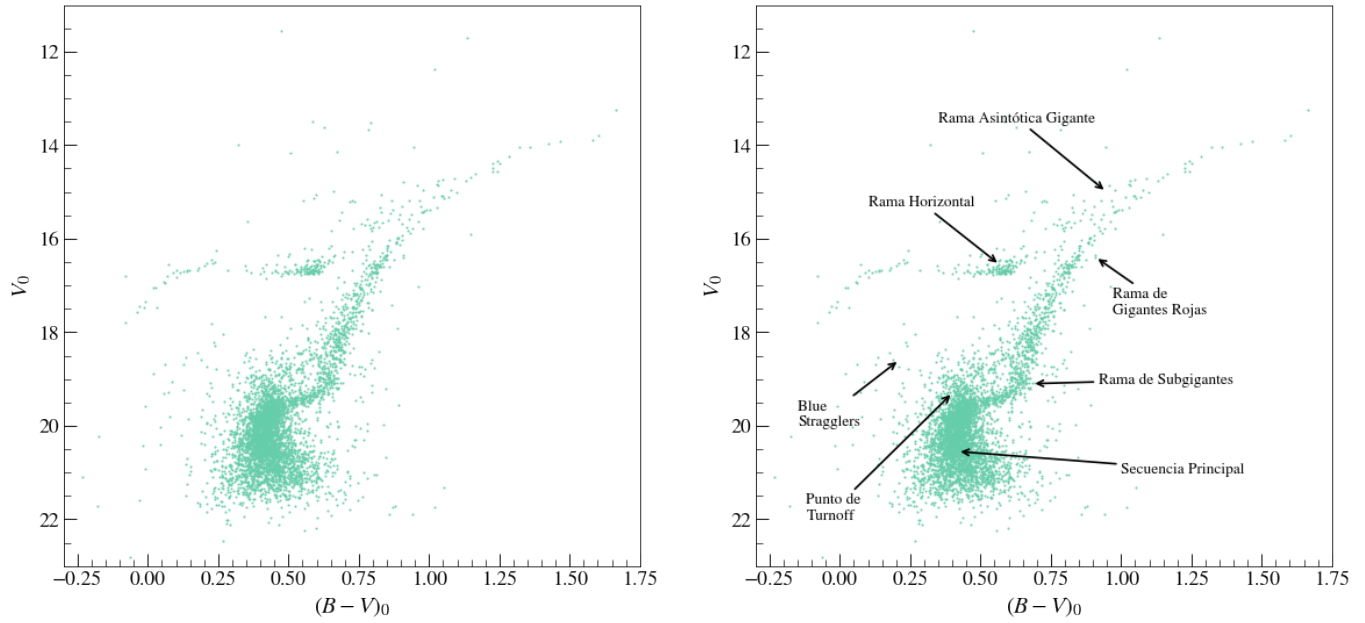
$$(B - V)_0 = (B - V) - E(B - V) = (B - V) - (A_B - A_V) \quad (8)$$

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

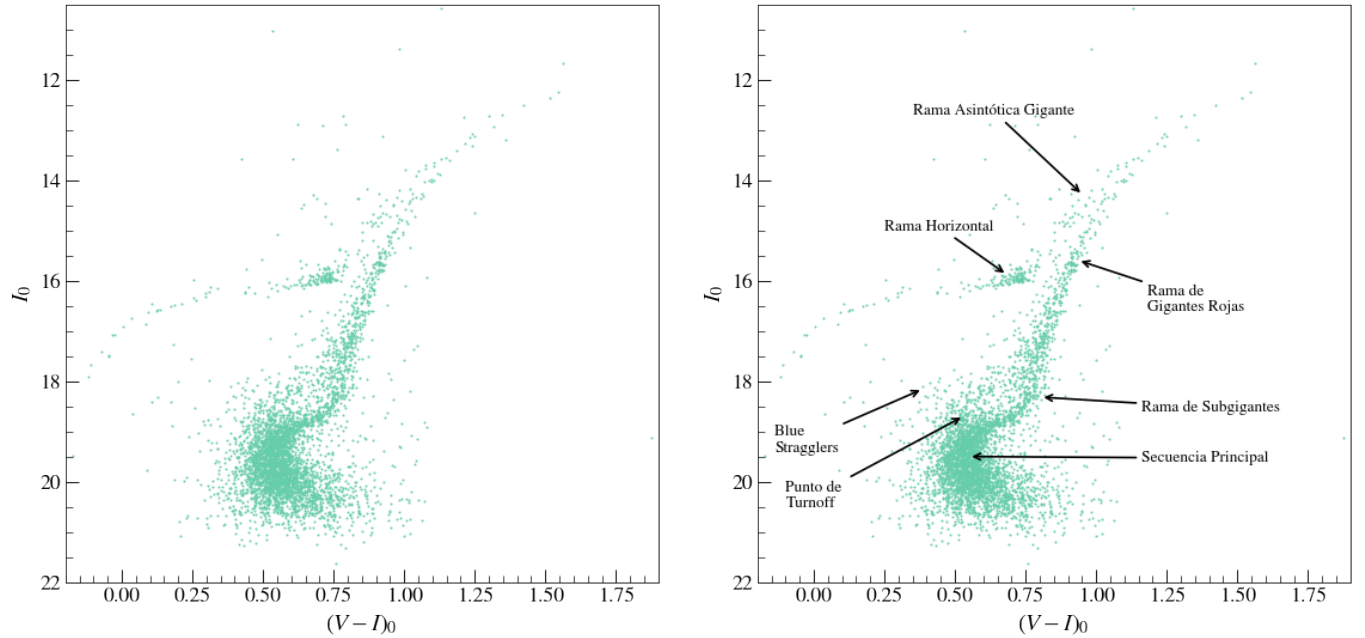
Y particularmente para calcular  $(B - I)_0$ :

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

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.

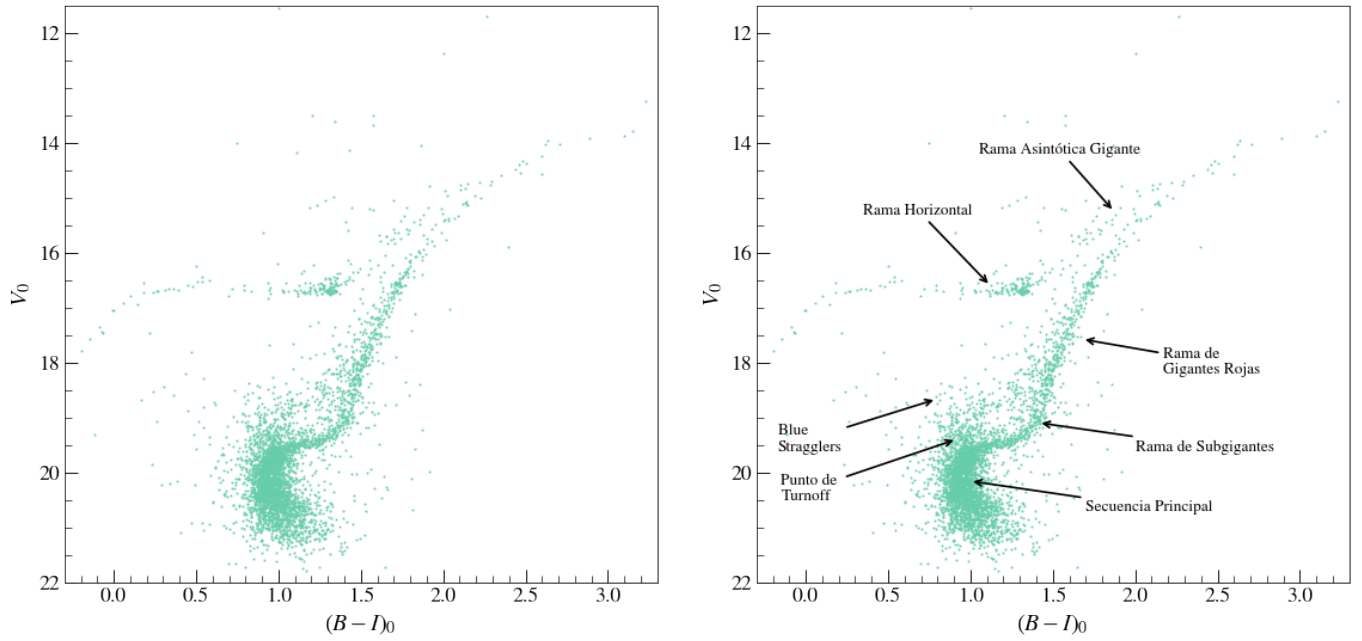
2. En las mismas figuras 2, 3 y 4 podemos ver, del lado derecho, las estructuras estelares identificadas según los lineamientos de la teoría.
3. Utilizaremos dos métodos diferentes para estimar la metalicidad total  $[m/H]$  del cúmulo, para luego tomar un promedio de los resultados y calcular la fracción 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  $V_0(RH) = 16.68$ , 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:

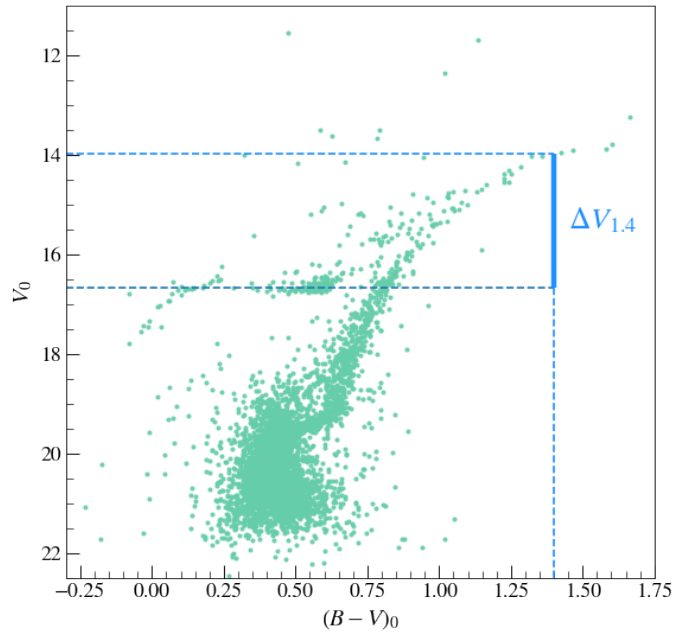
$$\Delta V_{1.4} = V_0(RH) - V_0(RA)_{(B-V)_0=1.4} = 16.68 - 13.98 = 2.7 \quad (11)$$

Ahora utilizando la relación del enunciado obtenemos la metalicidad total:

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



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



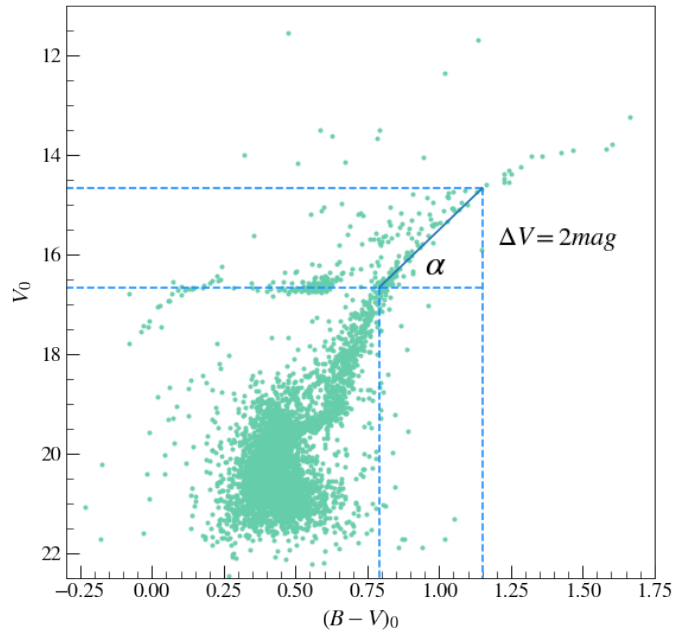
**Figura 5:** Método  $\Delta V_{1.4}$  para la estimación de la metalicidad total.

- 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:

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



**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:

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

Ahora, considerando la relación:

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

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

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

4. Para estimar el módulo de distancia del cúmulo utilizaremos la magnitud aparente intrínseca de la rama horizontal  $V_0(RH) = 16.68$ , y la abundancia del hierro  $[Fe/H]$ , la cual aproximamos utilizando la metalicidad total según:

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

Luego calculamos la magnitud absoluta de la rama horizontal:

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

Y de esta forma estimamos el módulo de distancia como:

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

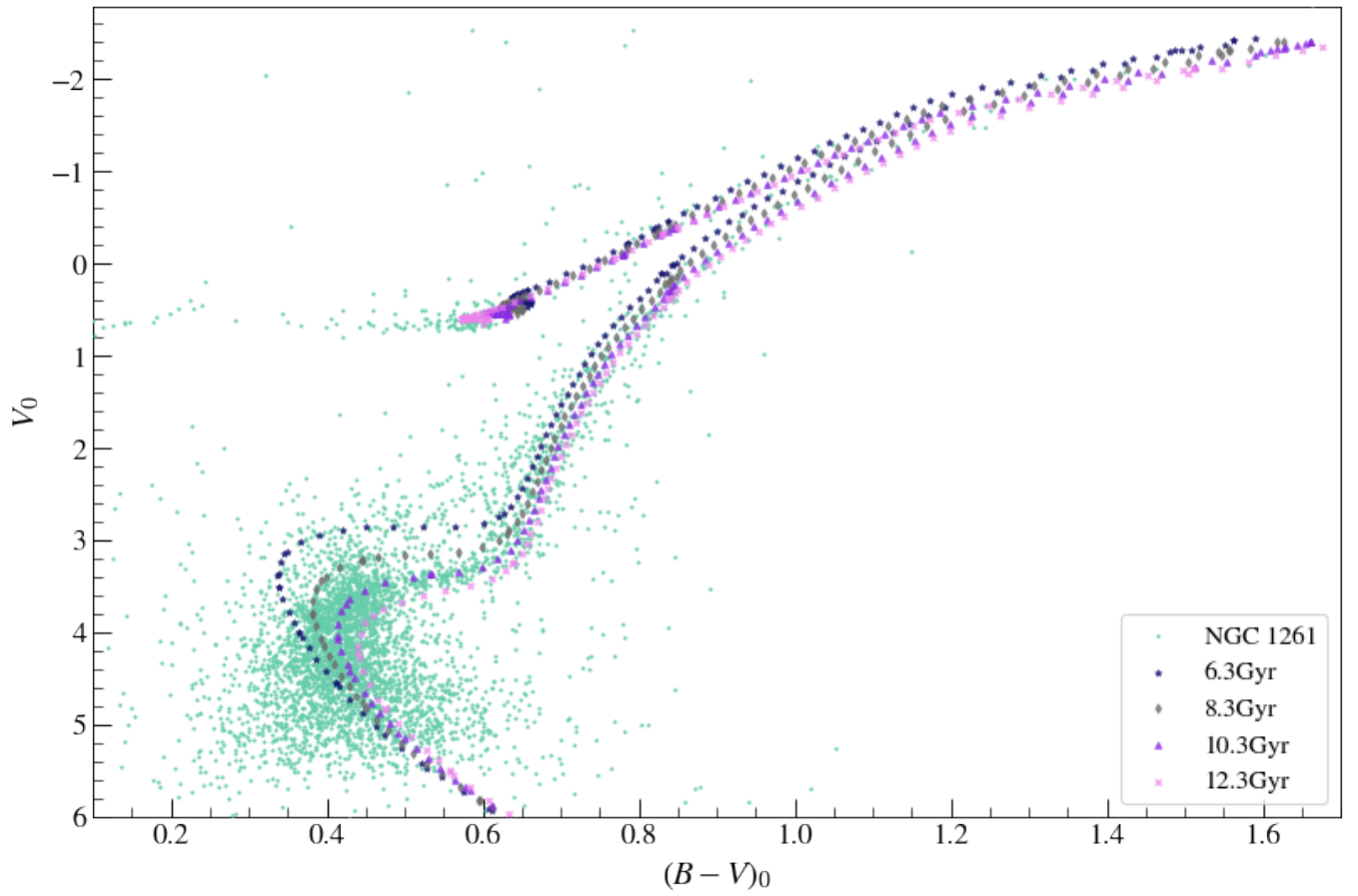
Así, la distancia nos dará:

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

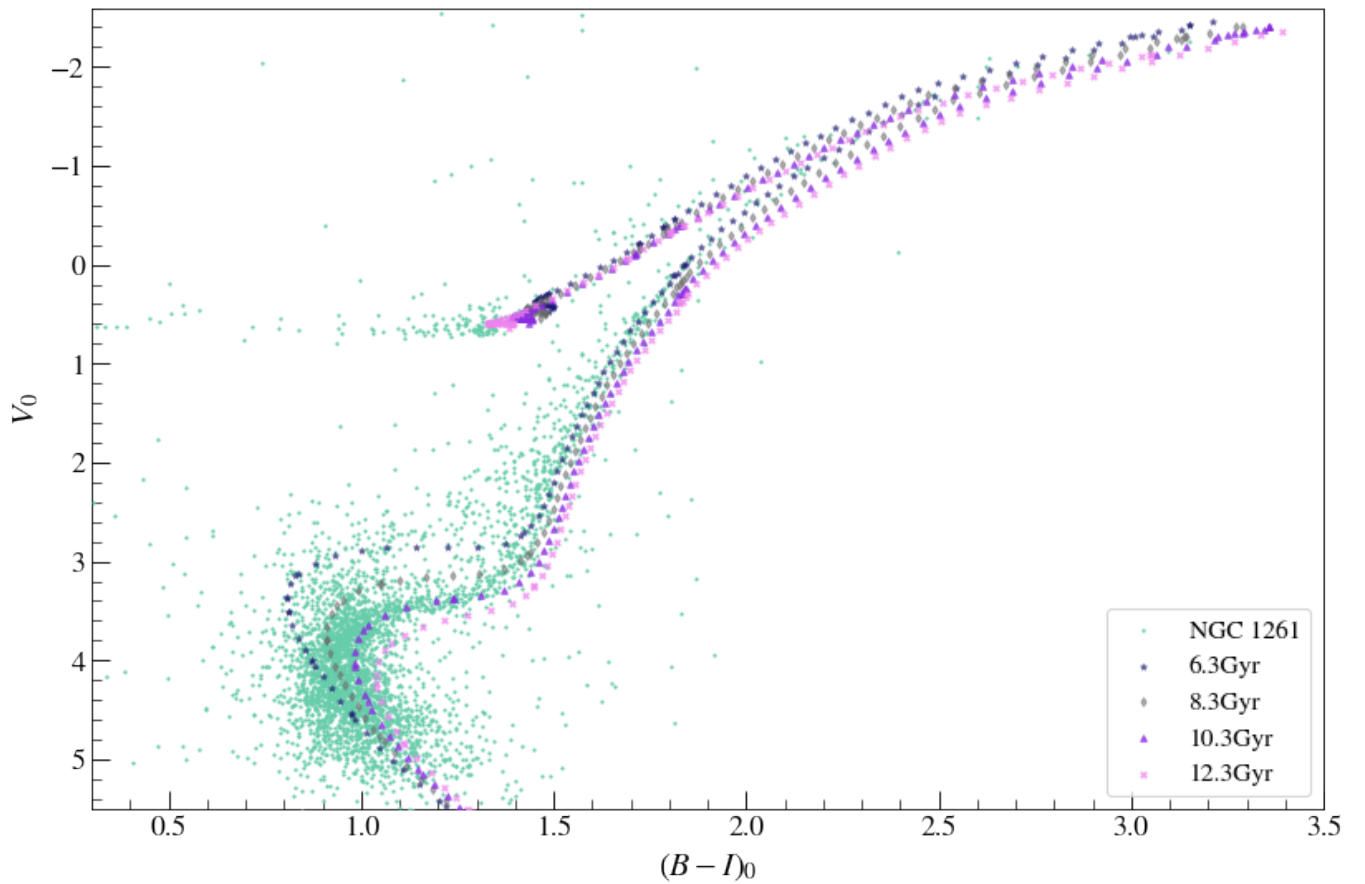
5. Utilizando las isocronas de 6.3, 8.3, 10.3 y 12.3 Gyr provistas por la cátedra procederemos a verificar y cuestionar los resultados de la fracción de masa  $Z$  (ecuación 17) y  $(m - M)_V$  (ecuación 20). Para esto, procederemos a graficarlas sobre los diagramas color-magnitud  $V_0$  vs  $(B - V)_0$  (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, según las diferencias que se presentan especialmente en el punto de turn-off, la isocrona que mejor ajusta a los datos de nuestro cúmulo 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.

Concluimos que el cúmulo NGC 1261 tendrá una edad de aproximadamente 10.3 Gyr y una fracción de masa de metales  $Z = 0.0012$ , tal como habíamos calculado. Puesto que esta isocrona ajusta bien a los datos del cúmulo con el módulo de distancia calculado en la ecuación 20, tomaremos tal resultado como apropiado.

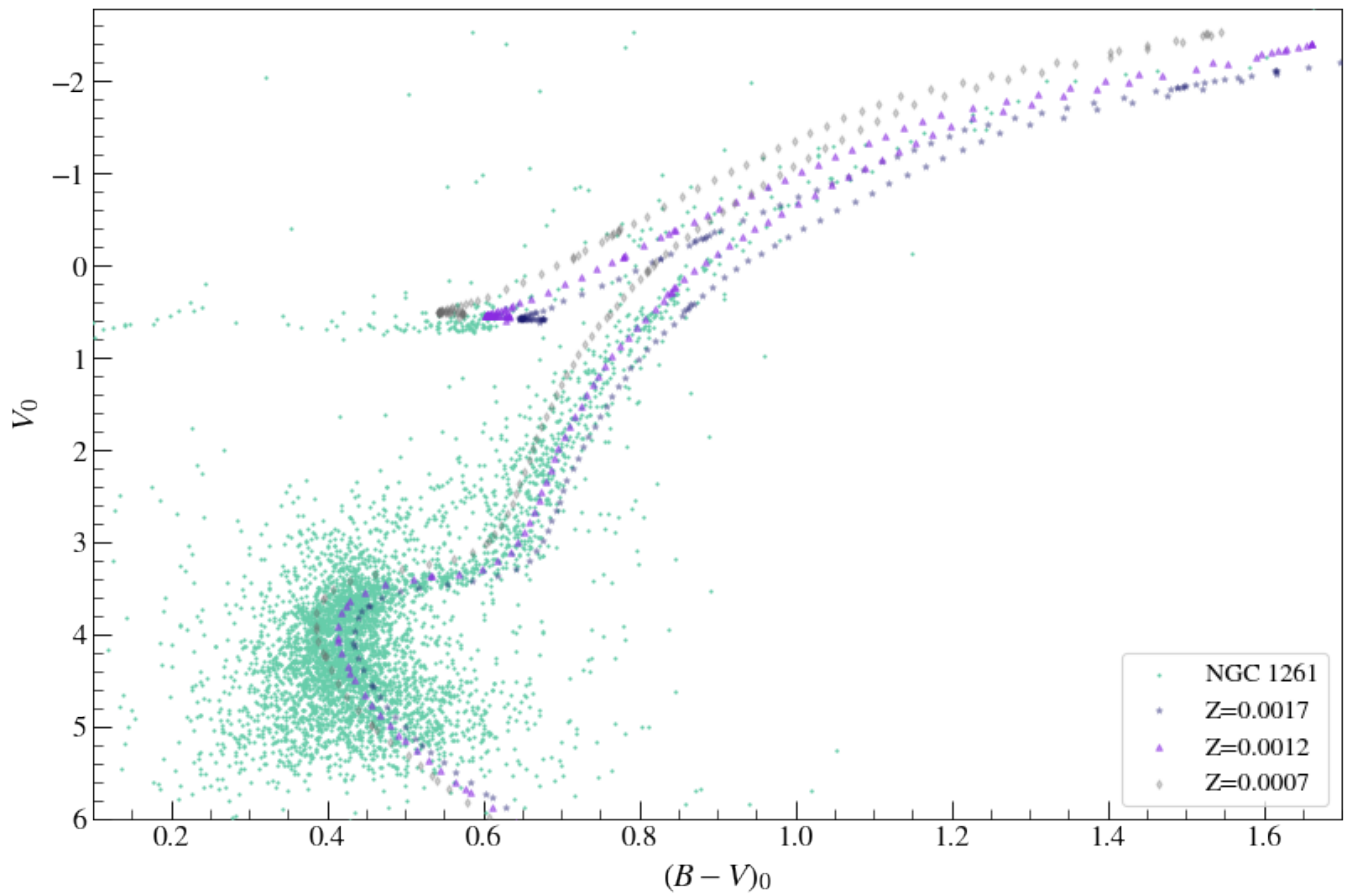
□



**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  $Z = 0.0012$ .