

# Estrellas: Parte 2

**Dr. José Antonio García Barreto**

Investigador Titular B

Instituto de Astronomía

Universidad Nacional Autónoma de México

Material didáctico para utilizarse en el curso ***Astrofísica General*** a nivel licenciatura para estudiantes de física ofrecido en la Facultad de Ciencias, UNAM, Mayo 2020

# 1) Magnitud aparente en un color

Como se mencionó en notas anteriores, se pueden realizar observaciones de estrellas dejando pasar solamente una banda de color, en particular se mencionaron los colores en el visible: U (violeta), B (azul), V(verde), R(rojo), e I(mas rojo).

Por lo tanto se puede tener la magnitud aparente de una estrella según su color, por ejemplo:  $m_U$ ,  $m_B$ ,  $m_V$ ,  $m_R$ , y  $m_I$ .

Recordemos las magnitudes aparentes del Sol en los dos colores (B, y V) publicados en 1964:

$$m_B(\odot) = -26.27 \pm 0.01 \quad (1)$$

$$m_V(\odot) = -26.91 \pm 0.01 \quad (2)$$

Lo primero que hay que notar es que  $m_B$  y  $m_V$  no son iguales ! lo que indica que el Sol emite mas radiación E&M en el color verde que en el color azul.

Esta diferencia se corrobora cualitativamente con los flujos publicados en 1968 del Sol: más flujo en color rojo y más rojo ( $\lambda > 6070 \text{ \AA}$ ) comparado con el flujo en la banda que incluía los colores (U, B, V).

Recordando la expresión matemática que incluye el flujo y la magnitud aparente de una estrella, digamos el Sol, tenemos:

$$m_{\odot B} \propto -2.5 \log_{10}(\mathcal{F}_{\odot B}) \quad (3)$$

$$m_{\odot V} \propto -2.5 \log_{10}(\mathcal{F}_{\odot V}) \quad (4)$$

Pero,  $\mathcal{F}_{\odot B} = \upsilon_B \pi F_{\odot B}$  (5)

$$\mathcal{F}_{\odot V} = \upsilon_V \pi F_{\odot V} \quad (6)$$

Si realizamos la suma algebraica de las dos magnitudes aparentes del Sol, tenemos:

$$m_B - m_V = -2.5 \log_{10}(\nu_B \pi F_B) + 2.5 \log_{10}(\nu_V \pi F_V) \quad (7)$$

Rearreglando la expresión (7) y solamente escribiendo B en vez de  $m_B$  y V en vez de  $m_V$  :

$$B - V = 2.5 \log_{10} \left( \frac{\frac{c\pi}{\lambda_V} F_V}{\frac{c\pi}{\lambda_B} F_B} \right) \quad (8)$$

Simplificando la expresión (8), se tiene:

$$B - V = 2.5 \log_{10} \left( \frac{\lambda_B F_V}{\lambda_V F_B} \right) \quad (9)$$

A la suma algebraica de B y V se le conoce como **color**, y es proporcional al logaritmo base 10 del cociente de las longitudes de onda

$$B - V = 2.5 \log_{10} \left( \frac{\lambda_B}{\lambda_V} \right) + 2.5 \log_{10} \left( \frac{F_V}{F_B} \right) \quad (10)$$

Algebraicamente se tiene la siguiente expresión:

$$B - V = 2.5 \log_{10} \left( \frac{F_V}{F_B} \right) - 0.242 \quad (11)$$

El problema es que tenemos 4 variables  $B$ ,  $V$ ,  $F_B$ ,  $F_V$  (flujos intrínsecos) y sólo una expresión.

Recordemos que el flujo intrínseco se podría estimar si se conoce el flujo detectado en la Tierra, siempre y cuando se conozca la distancia a la estrella y la suposición de que el medio interestelar es transparente, si no, entonces habría que corregirlo por la extinción o absorción.

La expresión (11) nos indica cualitativamente el significado del **color** ,

es decir,  $B - V$  es proporcional al logaritmo base 10 del cociente de los flujos.

i Si el flujo  $F_V > F_B$  el color será **positivo** !.

i Si  $F_V < F_B$  el color será **negativo** !

## 2) Color B – V del Sol

¿Cuál es el **color B – V** del Sol de acuerdo a los valores publicados en 1964?

$$B - V = +0.64 \quad (12)$$

Este valor positivo del **color** nos indica:  
flujo del Sol en el color **verde** (hacia **longitudes  
de onda mayores**)

es mayor

que el flujo en el color **azul** (hacia **longitudes de  
onda menores**)

Este valor del color del Sol es experimental, pero conocemos la distancia Tierra – Sol y sabemos que a primer orden el medio interplanetario es transparente.

# 3) Colores del Sol y otras estrellas

Con los filtros de banda ancha en el región de luz visible en el espectro electromagnético, se pueden estimar los siguientes colores:

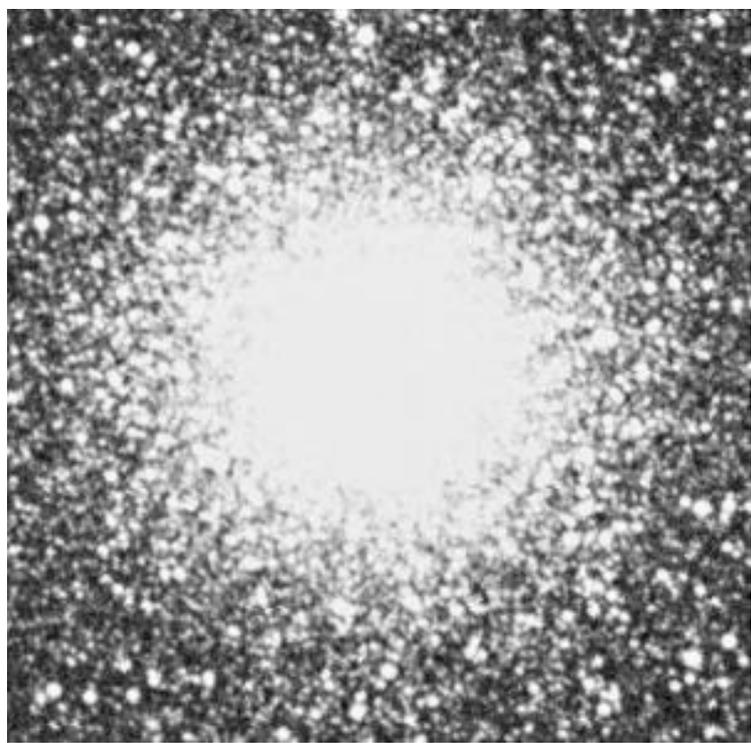
**U** – **B**

**B** – **V**

**V** – **R**

**R** – **I**

o cualquier combinación entre los diferentes filtros.



Cumulo o grupo de estrellas conocido como el 3er objeto del catálogo del astrónomo francés Messier, M3.

Es un conjunto de estrellas que están en equilibrio de fuerzas: fuerza gravitacional (que trata de llevarse todas las estrellas al centro) y la fuerza centrífuga de cada estrella (que trata de alejarla del cumulo)

Supongamos, por el momento, que por algún método se conoce la distancia a M3, digamos el vector  $\vec{D}$ , con amplitud  $|\vec{D}| = D$ . Cada una de las estrellas estaría a una distancia con un vector  $\vec{D}_* = \vec{D} + \vec{r}_*$ , y la amplitud del vector a esa estrella es:  $|\vec{D}_*| = \sqrt{D^2 + (r_*)^2}$ , pero  $|\vec{r}_*| = r$ , y  $r \ll D$ . Por lo tanto a primer orden y para efectos prácticos todas las estrellas pertenecientes al cúmulo se encuentran a la misma distancia del observador en la Tierra.

Dos astrónomos en forma independiente, Hertzsprung y Russell pensaron en la misma idea de preguntarse ¿cuáles serían los colores, por ejemplo,  $V$ , y  $B - V$  de cada estrella en un cúmulo de estrellas a la misma distancia, por ejemplo en el M3? y aun mas,

¿cómo estarían los colores de cada estrella si se grafica  $V$  en el eje vertical y  $B - V$  en el eje horizontal?

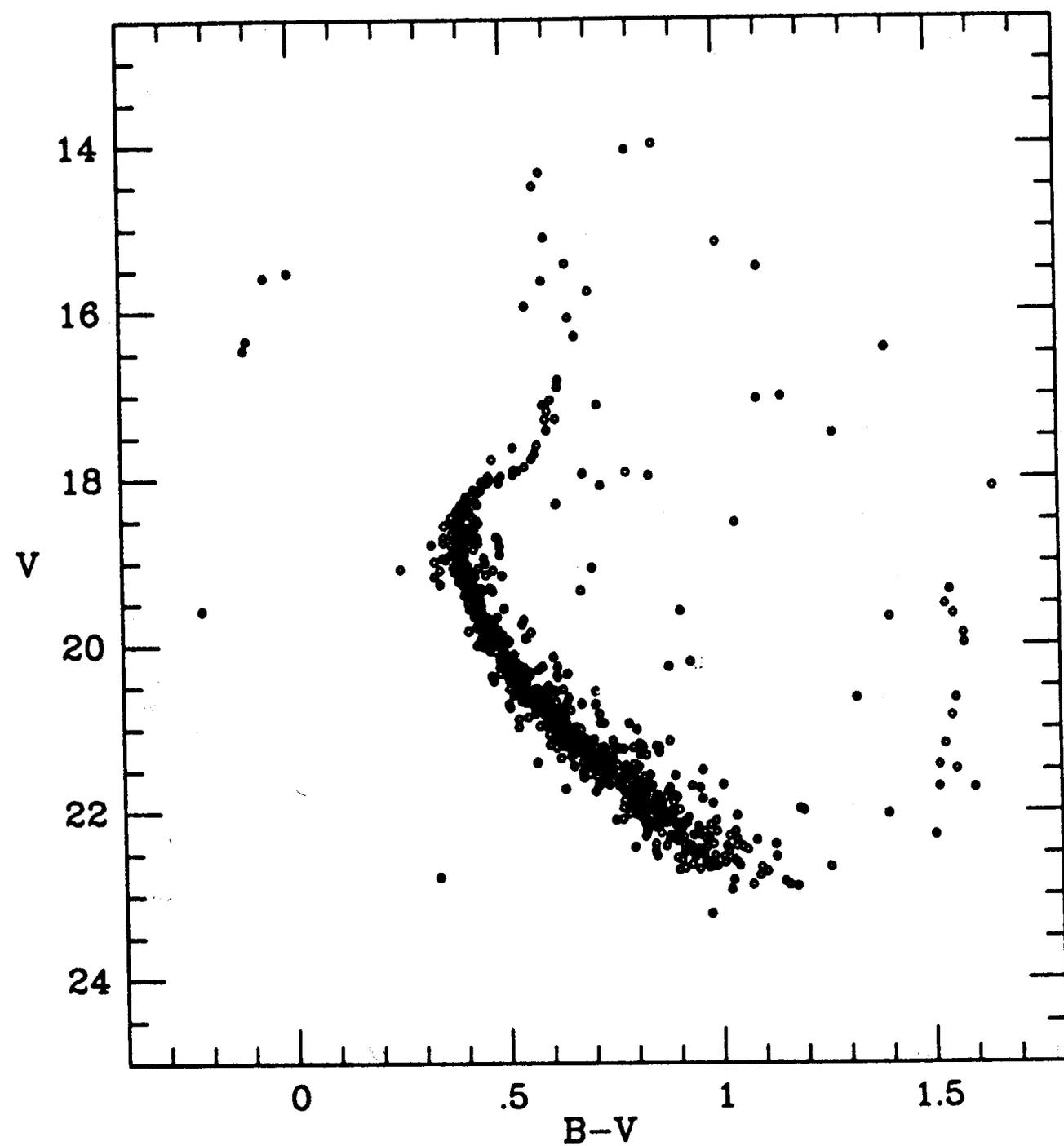


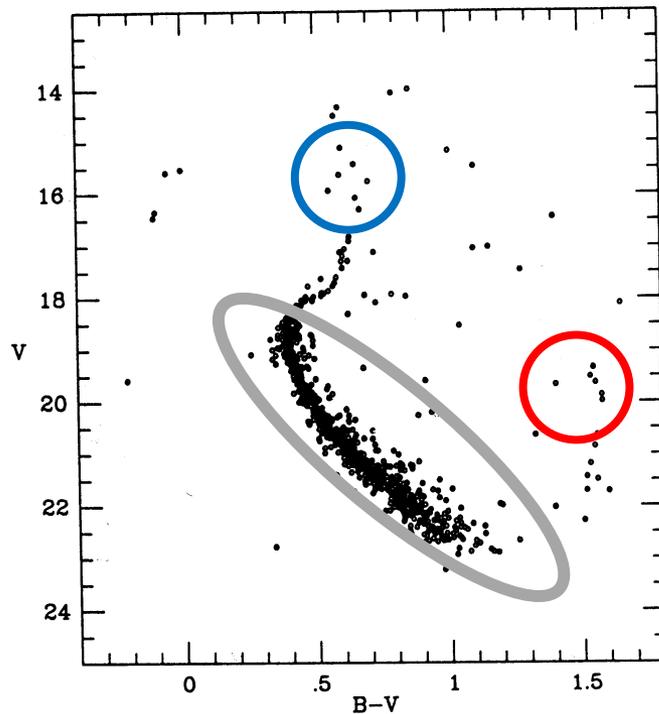
Diagrama  
observacional  
conocido como  
H-R

Al ver el diagrama observacional H-R hay varios puntos importantes para resaltar:

❖ Si todas las estrellas en el cúmulo brillaran de la misma manera, **sólo habría un punto** . Pero hay muchos puntos, tantos, como el número de estrellas, indicando que todas ellas brillan de forma diferente!

❖ Los puntos **no** están uniformemente distribuidos en el diagrama; hay puntos arriba a la izquierda, arriba a la derecha, en el centro, abajo a la izquierda, abajo a la derecha, etc.

❖ Llama la atención la alta densidad de puntos distribuidos en la franja diagonal que va de arriba a la izquierda hacia abajo a la derecha, en este ejemplo van desde la magnitud aparente  $V \sim 19 \rightarrow V \sim 22.5$ , mientras que el color  $B - V \sim +0.35 \rightarrow +0.95$



¿Qué tipo de correlación podemos aprender de este diagrama H-R y la distribución de puntos, en especial en la alta densidad en la zona inclinada incluida en la elipse color gris en la diapositiva anterior?

➤ Las estrellas en la parte superior izquierda tienen valores bajos en la magnitud aparente  $V \sim 19$  indicando que son más brillantes en ese color,

➤ Esas estrellas tienen valores altos del color **B – V** indicando que emiten primordialmente en la banda de radiación con longitudes de onda larga (bajas frecuencias) por lo tanto la energía de cada fotón emitido será menor.

➤ Las estrellas que tienen valores de **V** que las coloca en la región central vertical del diagrama pero con colores altos de **B – V** (estrellas dentro del **círculo rojo**), es decir, en la parte derecha del diagrama, tienen alto brillo en **V** (comparado con las estrellas en la diagonal)

pero brillan primordialmente en la banda de radiación con longitudes de onda larga (baja frecuencia) por lo que los fotones emitidos tienen baja energía.

➤ Las estrellas que tienen valores de **V** que las coloca en la región superior vertical del diagrama pero con colores bajos de **B – V** (estrellas dentro del **círculo azul**), es decir, en la parte central izquierda del diagrama, tienen alto brillo en **V** (comparado con las estrellas en la diagonal) pero brillan primordialmente en la

en la banda de radiación con longitudes de onda bajas (frecuencias altas), por lo tanto los fotones emitidos tendrán una alta energía.