

# Estudios fotométricos en los filtros B e I del cúmulo abierto NGC4755: “El cofre de Joyas”

Vicente Atal  
Pedro Inostroza  
Ivan Roldán

*Universidad de Chile  
Fc. de Cs. Físicas y Matemáticas  
Departamento de Astronomía*

## RESUMEN

El estudio se basa en el Cúmulo estelar abierto NGC4755 conocido como el “Cofre de Joyas”, del cual se obtuvieron imágenes con el Telescopio GOTO del cerro Calan de la Universidad de Chile, las cuales fueron procesadas con un lenguaje de alto nivel (PDL), para así obtener los flujos y magnitudes de las 17 estrellas más brillantes del Cúmulo, esto tomando como referencia la estrella Vega (sus flujos y magnitudes en los diferentes filtros), con esto se construyó un diagrama H-R (diagrama Hertzsprung-Russell) en los filtros B e I, del cual un posterior análisis permitió la estimación de datos como su edad y la distancia que lo separa de nosotros.

**Palabras claves:** Cúmulo abierto, Cofre de Joyas, NGC4755, Diagrama H-R

**Keywords:** Open cluster, Jewell Box, NGC47755, H-R Diagram

## 1 INTRODUCCIÓN

El interés astronómico por estudiar cúmulos estelares se debe a que estos ayudan a comprender la evolución de las estrellas ya que estas fueron formadas en la misma época a partir del colapso gravitacional de una nube molecular por lo que su composición química es similar. Los cúmulos estelares son en esencia agrupaciones de estrellas ligadas gravitacionalmente unas de las otras, hay dos tipos, los cúmulos globulares y los cúmulos abiertos, los cúmulos globulares son gigantescas agrupación estelares que se componen por estrellas “viejas”, los cúmulos abiertos son agrupaciones relativamente menores, cuyo origen es más reciente, por lo tanto habitan en el estrellas “jóvenes”. En lo particular este estudio se basa en un cúmulo abierto, el cúmulo NGC4755.

## **2 METODOLOGÍA**

El presente informe como se manifestó anteriormente, a grueso modo tiene como finalidad obtener a partir de imágenes tomadas con el telescopio GOTO, bajo el filtro infrarrojo y azul, distancia y edad acerca del cúmulo abierto, NGC 4755.

Para conseguir dicha información fue necesaria la aplicación de la siguiente metodología de trabajo, en la que se pueden distinguir 4 etapas<sup>1</sup> que se llevaron a cabo durante todo el desarrollo del seminario de diseño.

### **2.1 Familiarización del tema**

En este periodo se logró tener un acercamiento en cuanto al telescopio GOTO y su cámara SBIG-ST8<sup>2</sup>, bajo la tutela de Fernando Olmos, asistente técnico, y Hernán Pulgar, administrador de sistemas. Se dio a conocer de manera sutil, su historia, partes, funcionamiento y su histórico desperfecto de fábrica<sup>3</sup>.

La actividad estaba complementada con la observación a través del telescopio Schmidt-Cassagrain Celestron de 35 cm de apertura, donde se observó una agrupación de estrellas, de manera visual.

Otro de los objetivos de esta etapa fue la entrega de una base teórica en materia fotométrica para el desarrollo del estudio a NGC 4755 el cual estuvo a cargo del profesor guía Simón Casassus<sup>4</sup>.

### **2.2 Adquisición de imágenes**

Para el desarrollo de un estudio fotométrico es necesario tener a lo menos dos imágenes observadas en 2 filtros distintos. La toma de imágenes en filtro I y en B de la estrella estándar Delta Crux (en un tiempo de 1 segundo) y de NGC 4755 (en un tiempo de 150 segundos) fue realizada a través del telescopio GOTO con la cámara SBIG-ST8 que esta ubicado en cerro Calán, sede del observatorio astronómico nacional el que está a cargo del departamento de astronomía de la Universidad de Chile, el día martes 29 de Agosto del 2006. Dicha adquisición de imágenes se presenta a continuación.

---

1 Dentro de estas etapas están incluidas las que fueron impuestas por el plan docente del seminario.

2 [http://www.das.uchile.cl/PageResena\\_Goto.htm](http://www.das.uchile.cl/PageResena_Goto.htm)

3 Posee un desperfecto de seguimiento que limita la observación a un tiempo determinado.

4 Académico del departamento de Astronomía. Ph.D. en Astrofísica, U. de Oxford, Reino Unido, 1999 [http:// www.das.uchile.cl/~simon](http://www.das.uchile.cl/~simon)

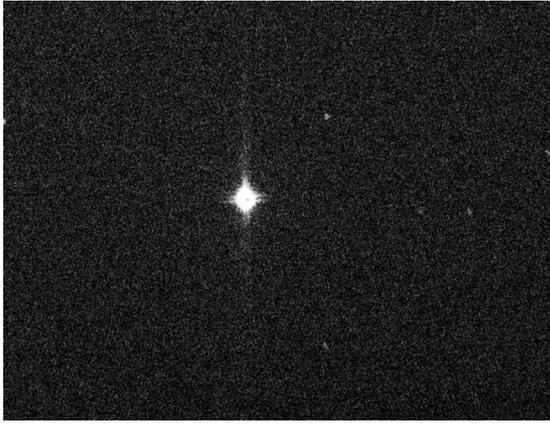


Figura 1. Fotografía de la estrella de referencia DeltaCrux observada en el filtro I, tomada en Observatorio Cerro Calán, a cargo del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile

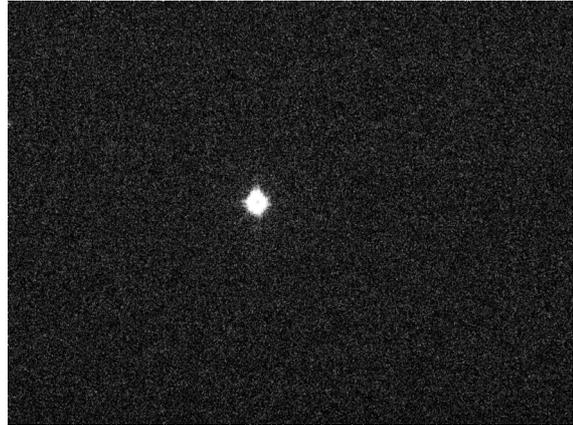


Figura 2. Fotografía de la estrella de referencia DeltaCrux observada en el filtro B, tomada en Observatorio Cerro Calán, a cargo del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile

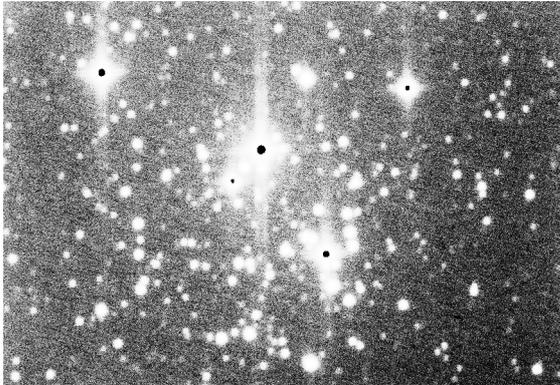


Figura 3. Cúmulo Abierto NCG4755 observado en el filtro I, fotografía tomada en Observatorio Cerro Calán, a cargo del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile

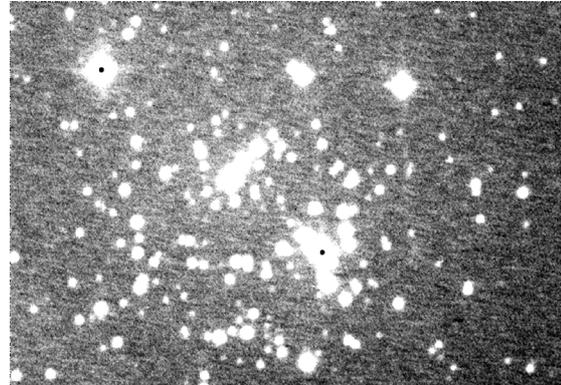


Figura 4. Cumulo Abierto NCG4755 observado en el filtro B, fotografía tomada en Observatorio Cerro Calán, a cargo del Departamento de Astronomia de la Universidad de Chile.

### 2.3 Obtención de Datos

Para el estudio del diagrama H-R<sup>5</sup> de NGC 4755 es necesario obtener sus magnitudes estelares de cada estrella, para este estudio sólo se consideraron las 17 estrellas más brillantes del cúmulo. Dado que las imágenes están en .fit, fue posible trabajar en ellas perfectamente a través del PERL, de este modo, bastó definir una caja (x1:x2,y1:y2) en la que cada estrella estuviera inscrita y así con simple código calcular su magnitud. Sin embargo la imagen a emplear para dicha labor incluye cierta cantidad de ruido provocado por las condiciones climáticas que afectan al telescopio, lo que implica un error en los resultados.

Pero antes fue necesario calibrar la imagen utilizándose una relación matemática en la que los flujos de la estrella estándar (Delta Crucis), obtenidos con el telescopio, se relacionan con el flujo de Vega, dato entregado por el profesor guía.

Con respecto al problema del ruido se utilizó un método en la que además de considerarse la caja (x1:x2,y1:y2) se tomó una franja a esta, en la cual sólo existe ruido, de ese modo es posible calcular un promedio de ruido/píxel el cual es restado a cada píxel de la caja de la estrella en análisis. De ese modo fue posible generar magnitudes de estrellas disminuyendo su error asociado.

## 2.4 Análisis de los datos

Una vez con los datos, tablas, imágenes y diagramas listos, se conseguirá avanzar en la confección de respuestas a preguntas como: ¿A qué distancia se encuentra de nosotros?, ¿Cuántos años habrá acompañado nuestro viejo universo?

## 3 RECOPIACION DE DATOS

### 3.1 Flujos de la estrella estandar DeltaCruz

Para comenzar a calibrar las imágenes necesariamente debemos calcular el flujo en cuentas (esto es sumar sobre los píxeles “encendidos”, de una caja pequeña contenedora de una estrella), este flujo en cuentas será comparado con el flujo real que tiene la estrella calculado teóricamente a partir de su magnitud conocida y el Flujo de Vega. nuestra estrella estandar es DeltaCruz (ver Figura 5)

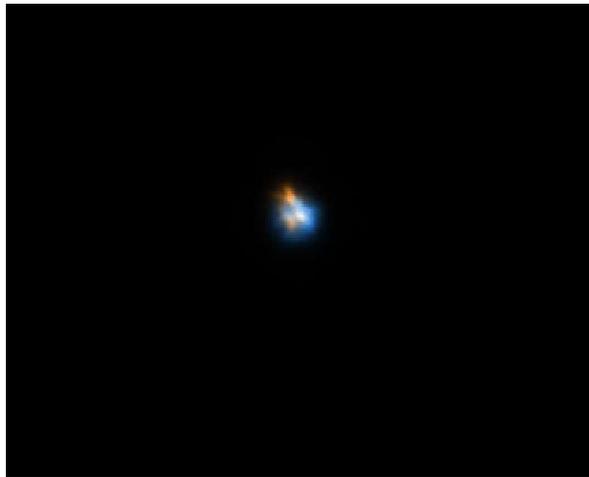


Figura 5. fotografía en color obtenida en Fitscut (consultar referencias) a partir de las figuras 1 y 2

Con este propósito encerraremos a DeltaCruz con un cuadrado se se ajuste a ella de forma tal que deje no demasiado espacio para no tener mucha influencia de espacios vacíos y tampoco muy ajustada para no perder píxeles “encendidos”, sumaremos sobre el rectángulo y obtendremos un flujo que posea niveles de ruidos.

Para evitar el ruido, tomaremos una caja ligeramente mayor centrada en el mismo lugar, de manera tal que al sumar sobre la caja mayor y restar el flujo anterior tendremos el ruido en el área que rodea a la estrella, dividiendo entre el número de píxeles del borde que queda entre las cajas y el tiempo de exposición, tendremos el ruido específicamente por píxel y por segundo en las cercanías de la estrella.

Se realizará esto con un Script que corra sobre PDL, el cual entregará directamente los flujos en cuentas en ambos filtros.

## Script

```
$x1=xx
$x2= xx
$y1= xx
$y2= xx
use PDL::NiceSlice
$i=rfits('imageni.fit')
$Cch=sum($i($x1:$x2,$y1:$y2))
$Cg=sum($i(($x1-10):($x2+10),($y1-10):
($y2+10)))
$dx=$x2-$x1
$dy=$y2-$y1
$Ag=($dx+20)*($dy+20)
$Ach=$dx*$dy
$Af=$Ag-$Ach
$R=($Cg-$Cch)/$Af
$Cuentas=$Cch-($R*$Ach)
$final=$Cuentas/tiempo exposicion
print($final)
$m=-2.5*log($final)/log(10)
print($m)
```

De esta forma encontramos

$F_{\text{cuentas}}$  para B e I

$$F_{\text{Icuentas}} = 2436161.196 \text{ y } F_{\text{Bcuentas}} = 2920773$$

### 3.2 Factores de calibración

Las Figuras 1 y 2 muestran la estrella estandar Delta Crux de la cual se extraeran los factores de calibración en los distintos filtros, estos datos no son de difícil extracción si conocemos la Magnitud de la estrella y el flujo de Vega en el mismo filtro, a través de la relación:

$$m = -2.5 \log \left( \frac{F_{\text{star}}}{F_{\text{v}}} \right) \quad (1)$$

#### 3.2.1 Factor de Calibración en B ( $\alpha_{\text{B}}$ )

Conocemos  $F_{\text{v}} = 4.3 \times 10^{-23}$  y  $M_{\text{v}} = 2.54$ , lo que permite obtener  $F_{\text{star}}$  para el filtro B, a través de la ecuación (1), obteniéndose así,

$$F_{\text{star}} = 4.14 \times 10^{-24}$$

Por otro lado podemos establecer:

$$\alpha_{\text{B}} = F_{\text{star}}/F_{\text{cuentas}}$$

y obtener nuestro factor de Calibración

$$\alpha_{\text{B}} = 1.41 * 10^{-30}$$

#### 3.2.2 Factor de Calibración en I ( $\alpha_{\text{I}}$ )

Análogamente, se obtuvo el factor de calibración:

$$\alpha_{\text{I}} = 5 * 10^{-31}$$

### 3.3 Magnitudes Estelares del cúmulo

Citando el Proceso anterior, con el Script modificado de tal modo de incluir el factor de calibración en las imágenes para cada uno de los filtros, se presentan a continuación el Script y la tabulación de los datos.

#### Script Modificado

```
$x1=xx
$x2= xx
$y1= xx
$y2= xx
$calibracion=  $\alpha$ 
use PDL::NiceSlice
$i=rfits('imageni.fit')
$im=$calibracion*$i
$Cch=sum($im($x1:$x2,$y1:$y2))
$Cg=sum($im(($x1-10):($x2+10),($y1-10):($y2+10)))
$dx=$x2-$x1
$dy=$y2-$y1
$Ag=($dx+20)*($dy+20)
$Ach=$dx*$dy
$Af=$Ag-$Ach
$R=($Cg-$Cch)/$Af
$Cuentas=$Cch-($R*$Ach)
$final=$Cuentas/tiempo exposicion
print($final)
$m=-2.5*log($final)/log(10)
print($m)
```

#### 3.4 Observaciones:

- 1-. Los **xx** corresponden a las posiciones de las cajas que encierran una de las 17 estrellas mas brillantes del cumulo
- 2-.  $\alpha$  corresponde al factor de calibracion, segun el filtro de las imagenes en proceso
- 3-. Es importante calibrar las imágenes normalizando por tiempo de exposición

Una vez con las imágenes en los filtros B e I, de NGC4755 se determinaron cajas contenedoras de las 17 estrellas mas brillantes de la agrupación.

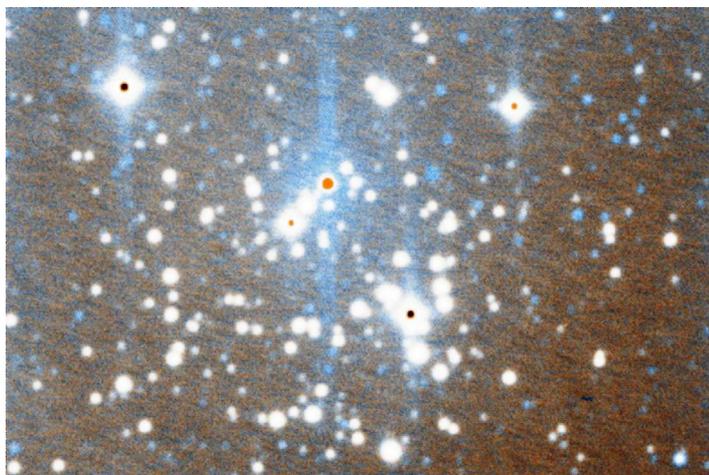


Figura 6. fotografía en color obtenida en Fitscut (consultar referencias) a partir de las figuras 3 y 4

Se estimo y elimino la influencia del ruido con la determinación del promedio específico de ruido de cada caja que contenía a cada estrella en particular, para esto se uso un Script sobre el lenguaje PDL(ver mas arriba), uno para cada filtro (que depende explícitamente del factor de calibración), con el cual se extrajeron las magnitudes de cada estrella, las cuales se presentan en la siguiente tabla.

	<b>B</b>	<b>I</b>
1	62,41	62,95
2	63,68	63,95
3	65,36	65,54
4	65,59	62,62
5	62,32	63,13
6	63,24	63,9
7	64,52	64,81
8	66,71	65,23
9	64,4	64,95
10	65,57	65,94
11	65,69	66,36
12	66,01	66,06
13	65,92	66,19
14	65,99	66,2
15	66,38	66,64
16	66,11	66,68
17	66,12	66,39

Tabla 1: Valores de las magnitudes en B, I

Con esto estamos en condiciones de darle sentido a nuestros datos de la Tabla 1

## 4 ANALISIS Y RESULTADOS

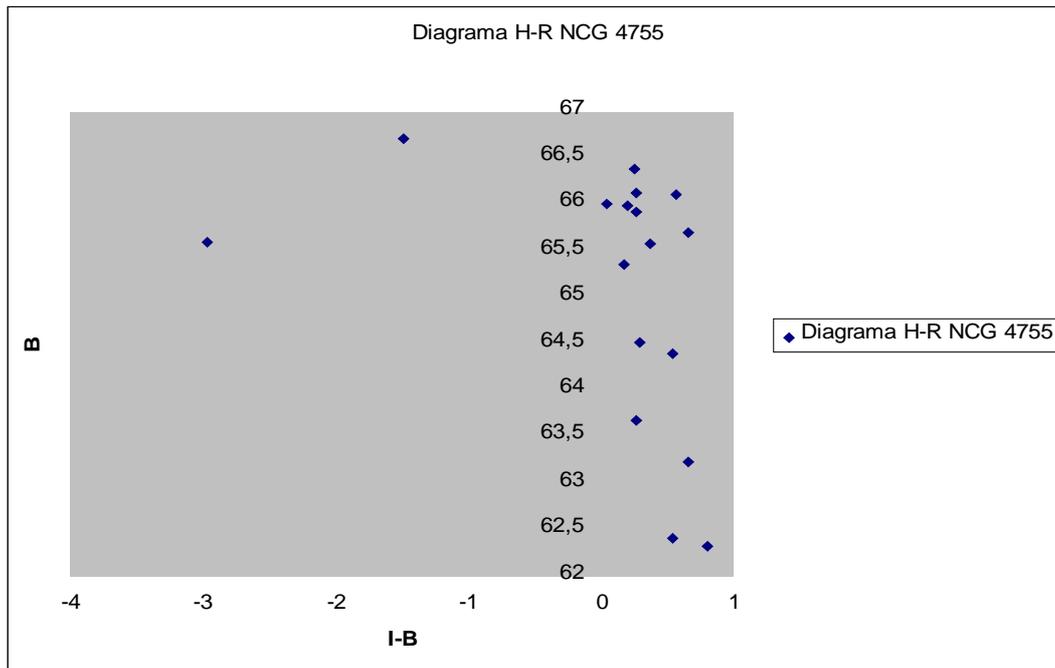
### 4.1 Diagrama H-R

Para construir el diagrama H-R, ordenamos los datos en una tabla y luego graficamos B v/s B-I

Tabla 2: Valores de las magnitudes en B, I y B-I

	<b>B</b>	<b>I</b>	<b>B-I</b>
1	62,4097	62,951	-0,5413
2	63,675	63,946	-0,271
3	65,364	65,535	-0,171
4	65,5912	62,622	2,9692
5	62,3229	63,132	-0,8091
6	63,2383	63,898	-0,6597
7	64,5178	64,807	-0,2892
8	66,7115	65,231	1,4805
9	64,4048	64,95	-0,5452
10	65,5716	65,941	-0,3694
11	65,6943	66,359	-0,6647
12	66,0122	66,059	-0,0468
13	65,9204	66,191	-0,2706
14	65,9925	66,195	-0,2025
15	66,3837	66,642	-0,2583
16	66,1145	66,678	-0,5635
17	66,124	66,391	-0,267

## Diagrama H-R para NGC 4755



Es posible identificar claramente la secuencia principal, sin embargo hay dos puntos que evidentemente no siguen la tendencia general, que corresponden a la cuarta y a la octava estrella de la tabla (en rojo). Estas estrellas corresponden a gigantes rojas, cuya presencia está confirmada por los datos oficiales.

El siguiente paso para determinar la edad del cúmulo es identificar el turn-off point, que en este caso corresponde a la quinceava estrella (en verde en la tabla). Su coordenada en (B-I) es (-0,2583).

Luego, identificamos este valor en la tabla que relaciona la coordenada del turn-off point con el tipo de estrella

### Calibration of MK Spectral types

Tipo	B-V	V-R	R-I	B-R	B-I
O5	-0,33	-0,15	-0,32	-0,48	-0,8
O9	-0,31	-0,15	-0,32	-0,46	-0,78
B0	-0,3	-0,13	-0,29	-0,43	-0,72
B2	-0,24	-0,1	-0,22	-0,34	-0,56
B5	-0,17	-0,06	-0,16	-0,23	-0,39
<b>B8</b>	<b>-0,11</b>	<b>-0,02</b>	<b>-0,1</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,23</b>
A0	-0,02	0,02	-0,02	0	-0,02
A2	0,05	0,08	0,01	0,13	0,14
A5	0,15	0,16	0,06	0,31	0,37
F0	0,3	0,3	0,17	0,6	0,77
F2	0,35	0,35	0,2	0,7	0,9
F5	0,44	0,4	0,24	0,84	1,08
F8	0,52	0,47	0,29	0,99	1,28
G0	0,58	0,5	0,31	1,08	1,39
G2	0,63	0,53	0,33	1,16	1,49
G5	0,68	0,54	0,35	1,22	1,57

G8	0,74	0,58	0,38	1,32	1,7
K0	0,81	0,64	0,42	1,45	1,87
K2	0,91	0,74	0,48	1,65	2,13
K5	1,15	0,99	0,63	2,14	2,77
M0	1,4	1,28	0,91	2,68	3,59
M2	1,49	1,5	1,19	2,99	4,18
M5	1,64	1,8	1,67	3,44	5,11

La estrella mas brillante sería de tipo B8, pues su valor en B-I se aproxima mejor al que caracteriza a este tipo de estrellas. En efecto, para este tipo de estrellas la coordenada (B-I) para el turn-off point vale -0,23 (en amarillo en la tabla) mientras que nuestro valor experimental fue de -0,2583

Ahora podemos recoger información precisa sobre el cúmulo ya que sabemos con que tipo de estrella estamos lidiando.

## 4.2 RESULTADOS

Obtenemos esta información a partir de la tabla siguiente:

### Calibration of MK spectral types (2)

Tipo	M/Msol	R/Rsol	log(g/gsol)		v rot (km/s)
O3	120	15	-0,3	-1,5	
O5	60	12	-0,4	-1,5	
O6	37	10	-0,45	-1,45	
O8	23	8,5	-0,5	-1,4	200
B0	17,5	7,4	-0,5	-1,4	170
B3	7,6	4,8	-0,5	-1,15	190
B5	5,9	3,9	-0,4	-1	240
<b>B8</b>	<b>3,8</b>	<b>3</b>	<b>-0,4</b>	<b>-0,85</b>	<b>220</b>
A0	2,9	2,4	-0,3	-0,7	180
A5	2	1,7	-0,15	-0,4	170
F0	1,6	1,5	-0,1	-0,3	100
F5	1,4	1,3	-0,1	-0,2	30
G0	1,05	1,1	-0,05	-0,1	10
G5	0,92	0,92	0,05	-0,1	<10
K0	0,79	0,85	0,05	0,1	<10
K5	0,67	0,72	0,1	0,25	<10
M0	0,51	0,6	0,15	0,35	
M2	0,4	0,5	0,2	0,8	
M5	0,21	0,27	0,5	1	
M8	0,06	0,1	0,5	1,2	

La información que nos servirá para determinar la edad de NGC 4755 es la que dice relación con la masa de la estrella con respecto a la masa del sol

Según la tabla,

$$M \text{ estrella} / M \text{ sol} = 3,8$$

Además sabemos que,

$T_{\text{estrella}} / T_{\text{sol}}$  es proporcional a  $(M_{\text{estrella}} / M_{\text{sol}})^{-2,5}$

Remplazando los valores numéricos,

$T_{\text{estrella}} / T_{\text{sol}}$  es proporcional a 0,036

Sabemos además que  $T_{\text{sol}} = 4.500$  millones de años

Luego,  $T_{\text{estrella}} = 0,035 * 4.500$   
 $= 159$  millones de años

Por lo tanto, la estrella más brillante tendría 159 millones de años

Podemos por lo tanto estimar que el cúmulo tendría esta cantidad de años

## 5 CONCLUSIONES

Este resultado difiere bastante del entregado por las tablas oficiales (que estipulan que el cúmulo tendría 7,1 millones de años) por lo que podemos suponer que en alguna parte hemos tropezado.

**El error viene necesariamente de la última parte, donde hemos vinculado la masa con el tiempo de vida, pues ya comprobamos que la relación entre las masas es correcta (encontramos una estrella de tipo B8, siendo que es una estrella B9, luego el error no es tan significativo).**

## **6 REFERENCIAS**

### **Photometric Kinematics studies of open star cluster III NGC4103, NGC5231 and NGC4755**

J. Sanner – J.Brunzendor- J-M.Will – M.Geffert

### **Diagrama H-R**

[http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama\\_de\\_Hertzsprung-Russell](http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Hertzsprung-Russell)

### **Telescopio GOTO**

Departamento de Astronomia, Universidad de Chile,

[http://www.das.uchile.cl/PageResena\\_Goto.htm](http://www.das.uchile.cl/PageResena_Goto.htm)

### **ASTRONOMIA DIGITAL**

Numero 11, 30 de Diciembre del 2003, [www.astro-digital.com](http://www.astro-digital.com)