

Astronomia observacional

Fotometria CCD – Montsec

Ruiz Dern, Laura
Peña Pérez, Dídac
Subirà Vallès, Montserrat
Blanco Cuaresma, Sergi

Taula de continguts

1 Objectius.....	3
2 Material previ.....	3
3 Instruments.....	4
3.1 Telescopi Takahashi FS-152.....	4
3.2 Càmera CCD ST-8.....	4
4 Desenvolupament de la pràctica.....	5
4.1 Observació.....	5
4.2 Reducció i anàlisi de les dades.....	5
5 Resultats de l'anàlisi fotomètric.....	8
5.1 Iris.....	10
5.2 IRAF.....	16
6 Conclusions.....	22
7 Bibliografia.....	25

1 Objectius

El principal objectiu de la pràctica és realitzar fotometria absoluta d'un cúmul obert a partir d'imatges capturades amb una càmera CCD ST-8. Addicionalment, es proposa compondre una imatge RGB a partir de les dades obtingudes amb diferents filtres.

Aquest document presenta els resultats de la pràctica, així com les decisions i valoracions més importants. Per altra banda, el detall del procés de reducció i anàlisi fotomètric ha sigut descrit en dos informes separats:

- Guia de referència per l'anàlisi fotomètric amb Iris
- Guia de referència per l'anàlisi fotomètric amb IRAF

2 Material previ

Com a material previ al dia de l'observació, es va desenvolupar un dossier amb una recopilació de tota la informació imprescindible:

1. Selecció de camps Landolt per a realitzar fotometria absoluta:
 1. SA115
 2. SA92
 3. PG0231+051
2. Cúmul oberts candidats a ser estudiats
 1. M45 (Plèiades)
 2. M39
3. Proposta d'estrelles variables: RZ Cep, Gamma Pegasi (Algenib) i DD Lac (Lacerta)

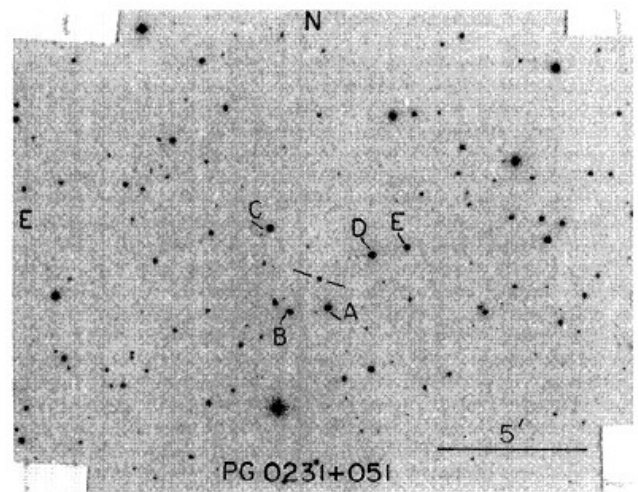


Figura 1. Camp Landolt PG 0231+051

4. Conjunt d'objectes espectaculars per tal de composar una imatge RGB

Per altra banda, es va redactar una breu guia de tasques a portar a terme amb l'objectiu de ser el més eficient possible durant l'observació.

El dossier va ser entregat al moment de l'observació. Per evitar duplicitats no s'inclou el seu contingut en el present informe.

3 Instruments

3.1 Telescopi Takahashi FS-152

El Takahashi FS-152 és un telescopi refractor amb un diàmetre de 152mm i una distància focal de 1216mm. Disposa d'un tub secundari de 78mm d'obertura i 630mm de distància focal.

3.2 Càmera CCD ST-8

Les característiques principals de la càmera CCD ST-8 utilitzada són les següents:

- Xip: KODAK KAF-1603ME de 1530x1020 píxels, cadascun d'ells de 9x9µm
- Sensibilitat: 2.5 electrons per ADU (*Analogic Digital Unit*, és a dir, cada unitat en la imatge digital ha estat produïda per 2.5 electrons)
- *Read-out noise* (RON): 15 electrons per píxel que equivalen a 15electrons x (1ADU/2.5electrons) = 6ADU per píxel.
- Bits per píxel: 16 bits
- Nombre màxim de comptes: $2^{16} = 65.516$
- Temperatures de treball: 20-25°C per sota de la temperatura ambient (mínim -25°C)

4 Desenvolupament de la pràctica

4.1 Observació

L'observació es va portar a terme al Centre d'Observació de l'Univers (COU) del Montsec:

- Latitud: 42° 1' 29" (42.02475)
- Longitud: 44' 12" (0.736792)
- Altitud: 800 metres sobre el mar
- Dia d'observació: 16 novembre 2010
- Cúmulo: M45 (Plèiades)
- Camp Landolt: Descartat per mal temps

Amb els filtres UBV, es van realitzar flats de cúpula i es van prendre imatges del cúmulo M45 (Plèiades). Per aparició de núvols, es va haver de descartar la presa d'imatges de cap camp Landolt.

Cal destacar que l'altre grup d'estudiants que va visitar l'observatori el mateix dia va realitzar els darks necessaris per a la reducció d'imatges.

4.2 Reducció i anàlisi de les dades

Per a la reducció i l'anàlisi de les dades s'ha fet ús del programa Iris¹ i l'entorn IRAF² per separat, amb l'objectiu de poder comparar resultats. El procés emprat es descriu en dos documents que complementen el present informe, tal i com s'especifica a l'apartat d'objectius.

Degut al mal estat de la càmera CCD, totes les imatges obtingudes presenten deficiències i una baixa qualitat. En aquest sentit, s'ha hagut de prendre la decisió de descartar les imatges preses el dia de l'observació (16 novembre del 2010) i utilitzar les imatges d'un grup d'estudiants diferent:

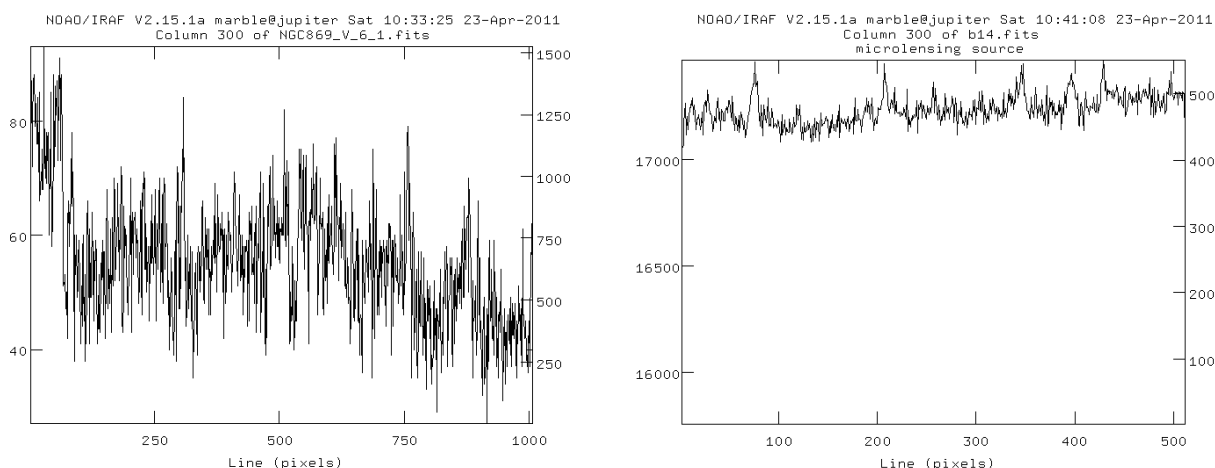
¹<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>

²<http://iraf.noao.edu/>

Astronomia observacional – Fotometria CCD – Montsec

- Dia d'observació: 24 novembre 2010
- Camp Landolt: SA98_653
- Cúmulo: NGC869

No obstant, la qualitat d'aquestes tampoc és perfecta i presenten franges horitzontals de distorsió. A continuació es mostra els valors per als píxels de la columna 300 (imatge esquerra) a on es pot observar l'elevat grau de soroll, especialment en comparació amb una imatge en bon estat (dreta):



Aquests problemes en la qualitat han limitat la pràctica en diversos aspectes:

1. No es disposa de suficients observacions a alçades diferents com per a obtenir les constants de l'efecte de l'extinció atmosfèrica amb un grau de qualitat raonable.
2. Es desconeix quin serà l'impacte real de les deficiències de la càmera CCD sobre els resultats de l'anàlisi fotomètric.

Cal recordar que un sistema fotomètric es troba compost pel filtre efectiu (filtre + detector) i un conjunt d'estrelles estàndard. Com no tots els filtres i detectors són exactament iguals, s'utilitza un conjunt d'estrelles mesurades amb una instrumentació "estàndard" per realitzar una comparació amb els resultats i obtenir les constants, a partir de les quals després es podran obtenir les magnituds absolutes dels estels seleccionats del cúmul.

La determinació de les constants es porta a terme ajustant per mínims quadrats la següent relació general entre les magnituds instrumentals (v , u , b) i absolutes (V , U , B):

Astronomia observacional – Fotometria CCD – Montsec

$$V - v_{inst} = v_1 - v_2 X + v_3 (B - V) + v_4 (B - V)^2$$

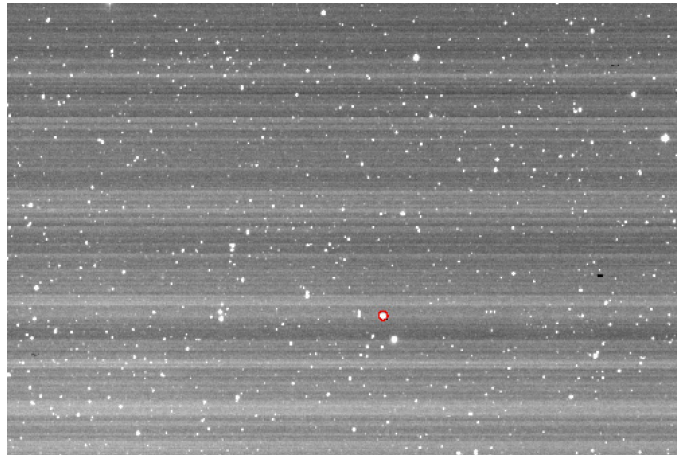
$$B - b_{inst} = b_1 - b_2 X + b_3 (B - V) + b_4 (B - V)^2$$

$$U - u_{inst} = u_1 - u_2 X + u_3 (B - V) + u_4 (B - V)^2$$

A la pràctica actual, i degut a les limitacions de les dades obtingudes, s'ha decidit fer ús de l'estrella estàndard SA98_653 del camp Landolt en combinació amb l'estrella HD 14052 del cúmul NGC869. Per aquesta última, els valors estàndards considerats han sigut obtinguts de la base de dades Simbad³. D'aquesta forma l'ajustament per mínims quadrats es pot realitzar amb una varietat més ampla d'observacions, obtenint un resultat més adient i precís. No obstant, l'ideal hagués sigut disposar de més observacions a alçades diferents.

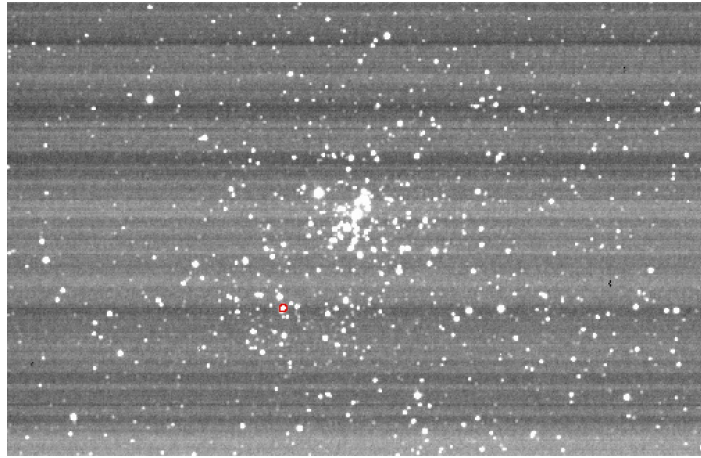
Filtre	U	B	V	(B-V)	(U-B)	X (Massa d'aire)
SA98_653	9.4400	9.5350	9.539	-0.004	-0.099	2.136237
HD 14052	7.9	8.48	8.18	0.30	-0.58	1.056433

Mitjançant cartes estel·lars, al camp Landolt s'ha identificat l'estrella estàndard SA98_653:



³<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=HD+14052>

De la mateixa forma, l'estrella HD 14052 també ha sigut identificada dintre de les imatges preses del cúmul NGC869:



S'han utilitzat totes les imatges preses de les estrelles estàndard sense combinar per tal de tenir més observacions per ajustar constants.

5 Resultats de l'anàlisi fotomètric

La transformació de magnituds instrumentals a estàndards (fotometria absoluta) s'ha portat a terme per un **cas simple** a on no es considera l'efecte del color:

$$v_{inst} = V - v_1 + v_2 X$$

$$b_{inst} = B - b_1 + b_2 X$$

$$u_{inst} = U - u_1 + u_2 X$$

I, paral·lelament, s'ha aplicat el **cas normal** amb la formulació més habitual de les equacions de transformació:

$$v_{inst} = V - v_1 + v_2 X - v_3 (B - V)$$

$$b_{inst} = B - b_1 + b_2 X - b_3 (B - V)$$

$$u_{inst} = U - u_1 + u_2 X - u_3 (B - V)$$

Cal destacar que X fa referència a la massa d'aire, la qual s'obté a partir de l'alçada a la que ha sigut observat l'objecte:

$$X = \frac{1}{\sin h}$$

Per tots els càlculs s'ha utilitzat el valor determinat per l'entorn IRAF, el qual fa el càlcul automàticament a partir de la ubicació, coordenades, data i hora de l'observació.

Si bé la recomanació del professor era utilitzar el cas simple, s'ha volgut comparar les diferències que implicava amb el cas més habitual. Aquest últim té en compte les divergències dels filtres utilitzats envers dels estàndards incorporant el color a la formulació.

En quant a la transformació de magnituds estàndards a absolutes, s'ha considerat el següent excés de color i distància al cúmul NGC 869 (extret de la base de dades Webda):

$$\begin{aligned} E(B-V) &= 0.575 \\ r &= 2079 \text{ pc} \end{aligned}$$

L'excés de color es defineix com:

$$\begin{aligned} E(B-V) &= (B-V)_{obs} - (B-V)_{intrinsic} \\ E(U-B) &= 0.72 \times E(B-V) \end{aligned}$$

En conseqüència, el color intrínsec ha estat calculat segons la següent formulació:

$$\begin{aligned} (B-V)_{intrinsic} &= (B-V)_{obs} - E(B-V) = (B-V)_{obs} - 0.575 \\ (U-B)_{intrinsic} &= (U-B)_{obs} - E(U-B) = (U-B)_{obs} - 0.72 * E(B-V) \rightarrow \\ &\rightarrow (U-B)_{intrinsic} = (U-B)_{obs} - 0.72 * ((B-V)_{obs} - 0.575) \end{aligned}$$

L'extinció interestel·lar presenta un efecte diferenciat en funció del filtre i depèn de l'excés de color:

$$\begin{aligned} E(B-V) &= A_b - A_v \\ E(U-B) &= A_u - A_b \\ A_v &= 3.1 E(B-V) = 3.1 * 0.575 \\ A_b &= E(B-V) - A_v = E(B-V) - 3.1 E(B-V) = 0.575 - 3.1 * 0.575 \\ A_u &= E(U-B) - A_b = 0.72 * E(B-V) - A_b = 0.72 * 0.575 - (0.575 - 3.1 * 0.575) \end{aligned}$$

Un cop coneguda l'extinció atmosfèrica, la magnitud absoluta s'obté mitjançant:

$$\begin{aligned}M_v &= V - 5 \log_{10}(r) + 5 - A_v = V - 5 \times \log_{10}(2079) + 5 - 3.1 * 0.575 \\M_b &= B - 5 \log_{10}(r) + 5 - A_b = B - 5 \times \log_{10}(2079) + 5 - (0.575 - 3.1 * 0.575) \\M_u &= U - 5 \log_{10}(r) + 5 - A_u = U - 5 \times \log_{10}(2079) + 5 - (0.72 * 0.575 - (0.575 - 3.1 * 0.575))\end{aligned}$$

Per altra banda, els resultats obtinguts han estat comparats amb una isòcrons generada amb l'eina CMD 2.2⁴ amb les següents constants (obtinguts de la base de dades Webda⁵):

- Metal·licitat de 0.019
- Edat de 1.170e+07 anys

5.1 Iris

Per tal de poder determinar les constants v_x , b_x i u_x que ens permetran obtenir les magnituds absolutes, s'han mesurat amb Iris les **estrelles estàndard** indicades a l'apartat anterior i s'ha portat a terme l'ajustament per mínims quadrats en un full de càlcul *Excel* (paral·lelament s'ha validat el resultat utilitzant el programa *Octave*), obtenint com a resultat pel cas simple:

Filtre	Constant 1		Constant 2	
	Valor	Incertesa	Valor	Incertesa
U	18.059	0.0088622	0.7494	0.005259
B	19.156	0.014927	1.027	0.0088577
V	18.059	0.039271	0.7494	0.023304

Per altra banda, el cas normal s'ha hagut d'ajustar utilitzant exclusivament l'eina *Octave* i el paquet '*optim*' que inclou l'algorisme de mínims quadrats per ajustaments lineals i no lineals

⁴<http://stev.oapd.inaf.it/cmd>

⁵http://www.univie.ac.at/webda/cgi-bin/ocl_page.cgi?cluster=ngc+869

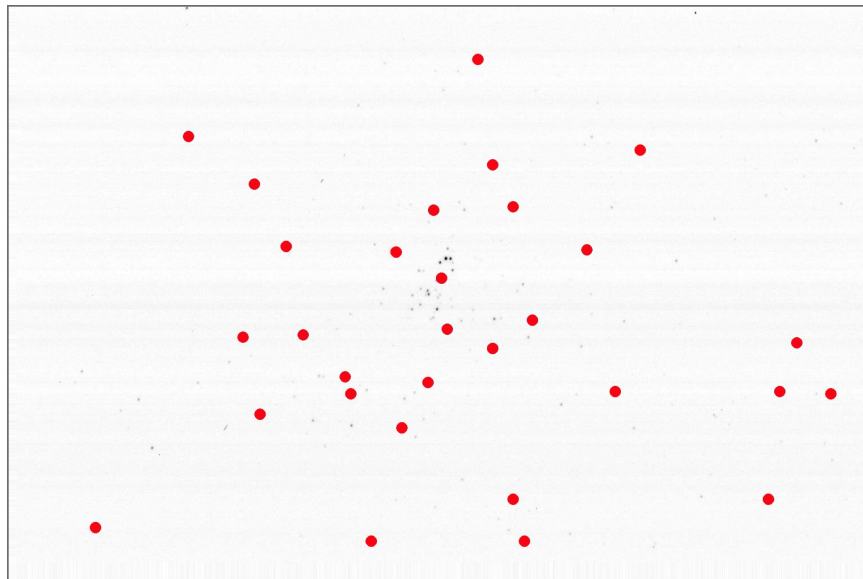
Astronomia observacional – Fotometria CCD – Montsec

(*'leasqr'*). En aquest cas els valors obtinguts són els següents:

Filtre	Constant 1		Constant 2		Constant 3	
	Valor	Incertesa	Valor	Incertesa	Valor	Incertesa
U	7.1428	6.6556	5.3779	2.822	-10.3911	6.3353
B	9.1984	0.60346	5.7195	0.28439	16.6709	1.0104
V	9.225	0.19706	5.9036	0.092856	16.8774	0.33034

Cal destacar que en aquest cas la incertesa associada als valors de les constants és significativament més elevada que al cas simple. Aquest fet denota que el nombre d'observacions utilitzades no és el més adient per a obtenir uns resultats fiables per aquest cas.

Finalment, en quant al cúmul NGC869, s'ha portat a terme l'anàlisi fotomètric d'apertura mitjançant el programa Iris per a un conjunt de 30 estrelles. Aquestes han estat escollides de forma manual i aleatòria utilitzant com a referència la imatge obtinguda amb el filtre U, d'aquesta forma es garanteix l'existència de dades registrades amb el filtre menys eficient:



Aquests valors han estat tractats posteriorment amb un full de càlcul Excel per tal d'obtenir les magnituds absolutes utilitzant les constants anteriors. Pel cas simple, els valors s'obtenien directament amb l'aplicació de les fórmules:

$$V = v_{inst} + v_1 - v_2 X$$

$$B = b_{inst} + b_1 - b_2 X$$

$$U = u_{inst} + u_1 - u_2 X$$

En canvi, pel sistema normal ha estat necessari resoldre el sistema d'equacions format per:

$$\begin{aligned} V &= v + v_1 - v_2 X + v_3(B - V) \rightarrow V = v + v_1 - v_2 X + v_3 B - v_3 V \rightarrow \\ &\rightarrow V + v_3 V - v_3 B = v + v_1 - v_2 X \rightarrow (1 + v_3)V - v_3 B + 0U = v + v_1 - v_2 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= b + b_1 - b_2 X + b_3(B - V) \rightarrow B = b + b_1 - b_2 X + b_3 B - b_3 V \rightarrow \\ &\rightarrow B - b_3 B + b_3 V = b + b_1 - b_2 X \rightarrow b_3 V + (1 - b_3)B + 0U = b + b_1 - b_2 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U &= u + u_1 - u_2 X + u_3(U - B) \rightarrow U = u + u_1 - u_2 X + u_3 U - u_3 B \rightarrow \\ &\rightarrow U - u_3 U - u_3 B = u + u_1 - u_2 X \rightarrow 0V + u_3 B + (1 - u_3)U = u + u_1 - u_2 X \end{aligned}$$

Utilitzant les equacions resultants, es pot construir la següent matriu:

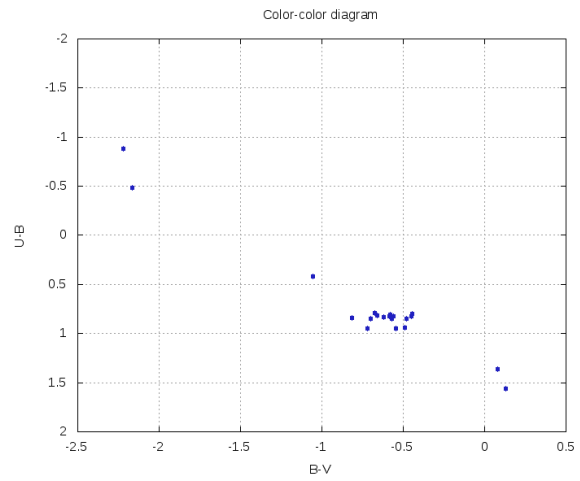
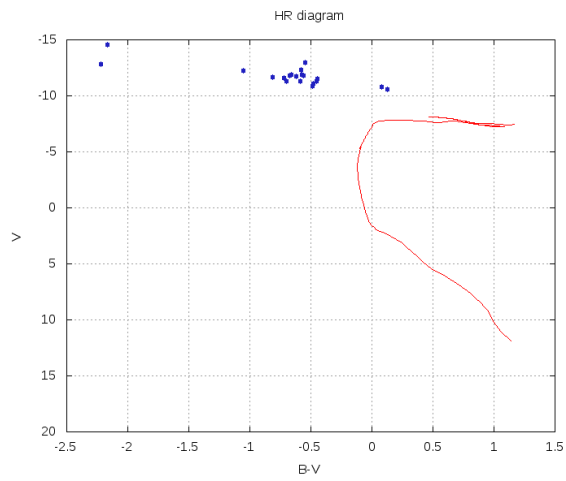
$$\begin{pmatrix} (1 + v_3) & -v_3 & 0 \\ b_3 & 1 - b_3 & 0 \\ 0 & u_3 & 1 - u_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v + v_1 - v_2 X \\ b + b_1 - b_2 X \\ u + u_1 - u_2 X \end{pmatrix}$$

D'aquesta forma és possible trobar les solucions al full de càlcul Excel, fent la inversa de la matriu i multiplicant per la columna:

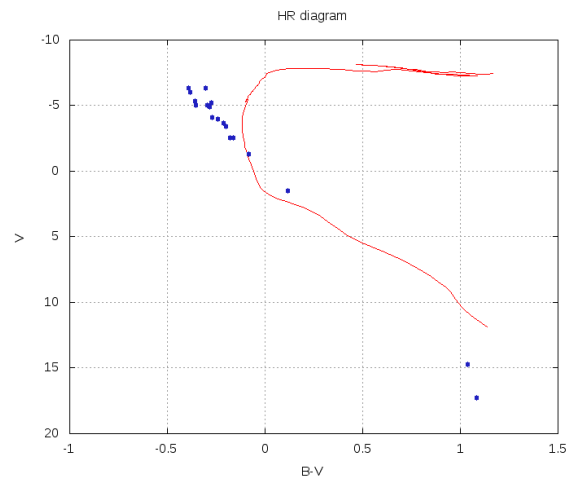
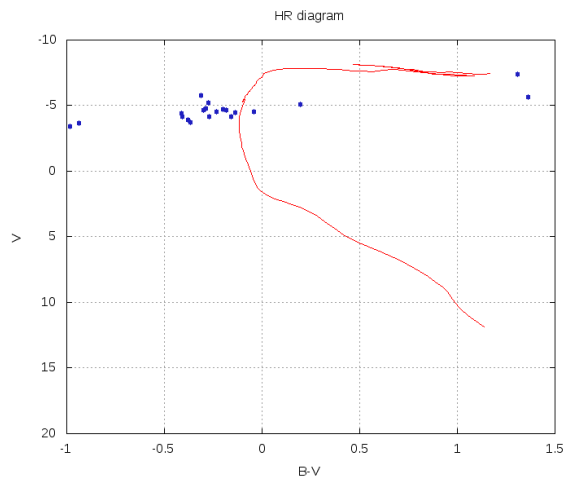
$$\begin{pmatrix} (1 + v_3) & -v_3 & 0 \\ b_3 & 1 - b_3 & 0 \\ 0 & u_3 & 1 - u_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} v + v_1 - v_2 X \\ b + b_1 - b_2 X \\ u + u_1 - u_2 X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V \\ B \\ U \end{pmatrix}$$

A continuació es presenten les dades i els diagrames més representatius, així com la imatge RGB.

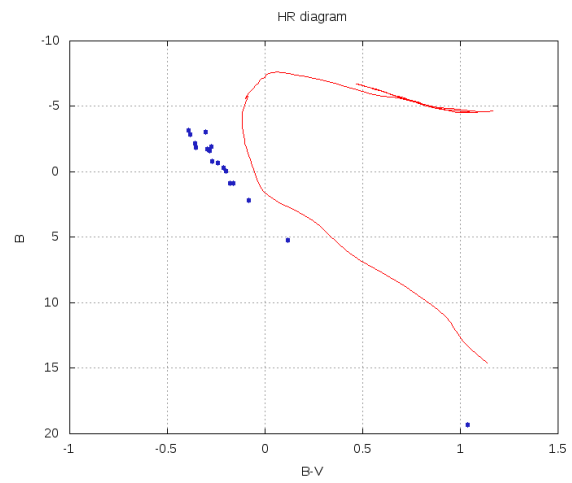
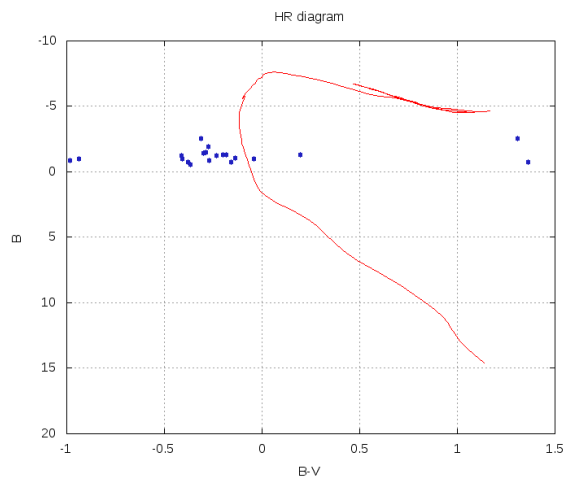
- Diagrames HR i color-color per a les mesures instrumentals



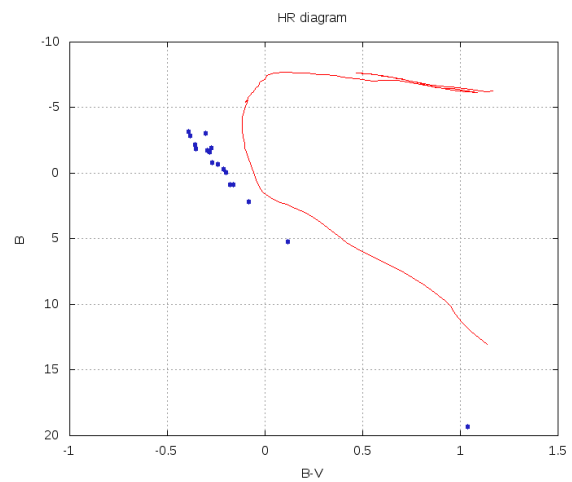
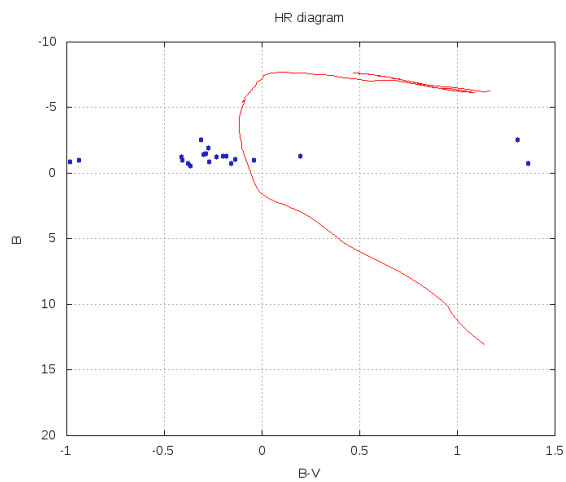
- Diagrama HR V vs BV pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



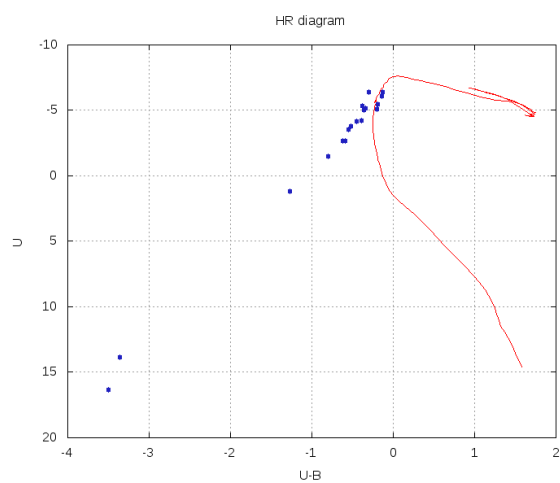
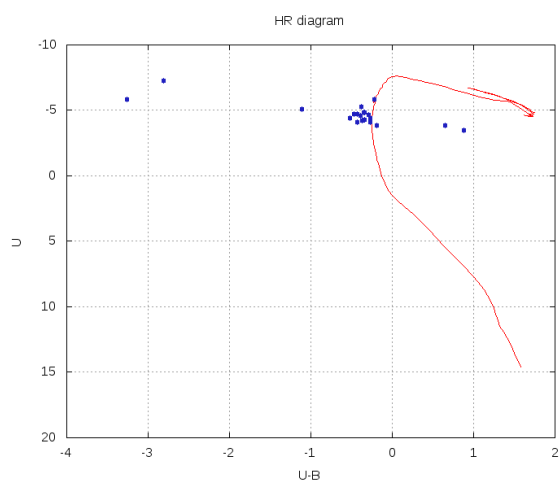
- Diagrama HR B vs BV pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



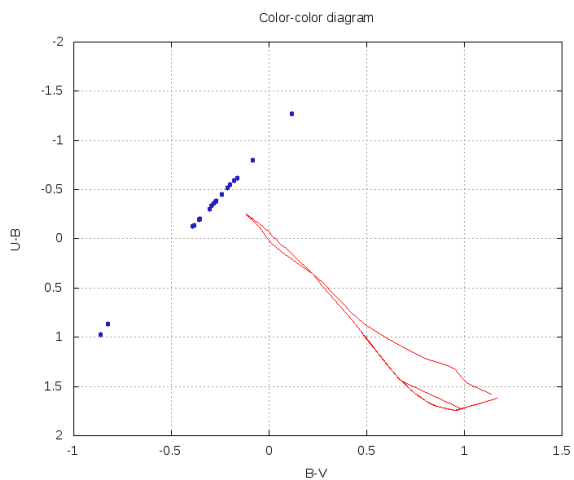
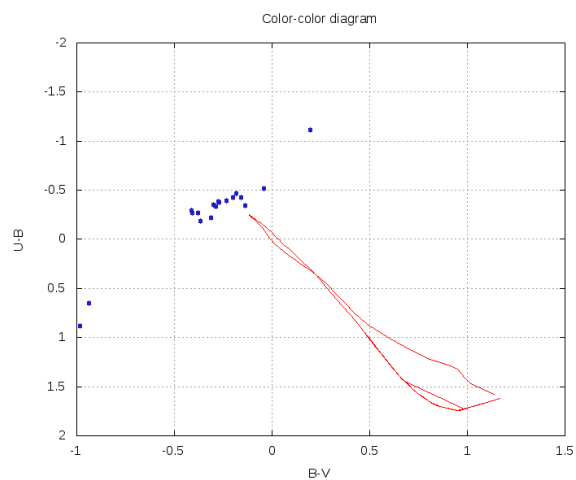
- Diagrama HR B vs UB pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



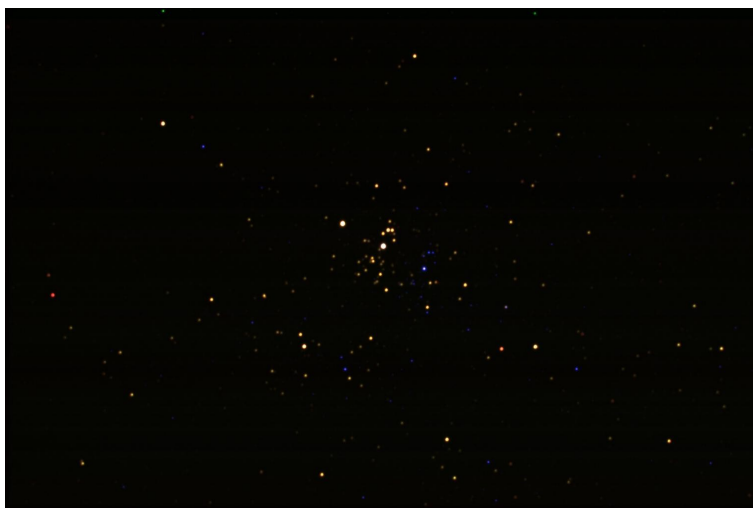
- Diagrama HR U vs UB pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



- Diagrama color-color UB vs BV pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



- Imatge RGB del cúmul



5.2 IRAF

Per tal de poder determinar les constants v_x , b_x i u_x que ens permetran obtenir les magnituds absolutes, s'han mesurat amb IRAF les **estrelles estàndard** indicades a l'apartat anterior. Per altra banda, utilitzant comandes específiques de l'entorn IRAF, s'ha realitzat l'ajustament per mínims quadrats. Pel cas simple s'han obtingut els següents valors:

Filtre	Constant 1		Constant 2	
	Valor	Incertesa	Valor	Incertesa
U	10.24897	0.01277948	-0.3995555	0.007839794
B	6.763066	0.01450238	0.08926314	0.008628128
V	5.896049	0.005102405	-0.05996438	0.00310995

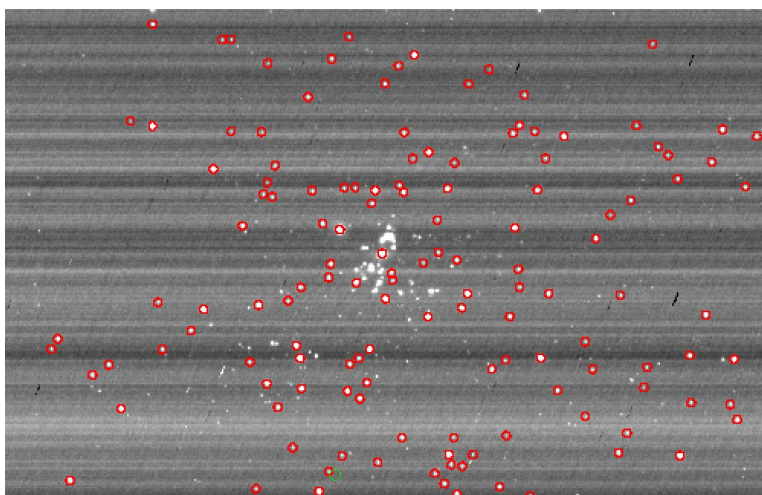
Astronomia observacional – Fotometria CCD – Montsec

Per altra banda, els valors obtinguts pel cas normal són els següents:

Filtre	Constant 1		Constant 2		Constant 3	
	Valor	Incertesa	Valor	Incertesa	Valor	Incertesa
U	3.203099	0.01315207	2.593015	0.008060529	-6.694348	-
B	2.537001	0.01488061	2.081934	0.00885215	7.07269	-
V	2.201453	12.84424	1.6813	6.053416	6.186071	21.50529

Cal destacar que el procés d'ajustament amb mínims quadrats no ha convergit i per tant els valors de les constants no són prou fiables (la incertesa associada és significativament superior al cas simple). Aquest fet denota que el nombre d'observacions utilitzades no és el més adient per a obtenir uns resultats amb bona precisió per aquest cas.

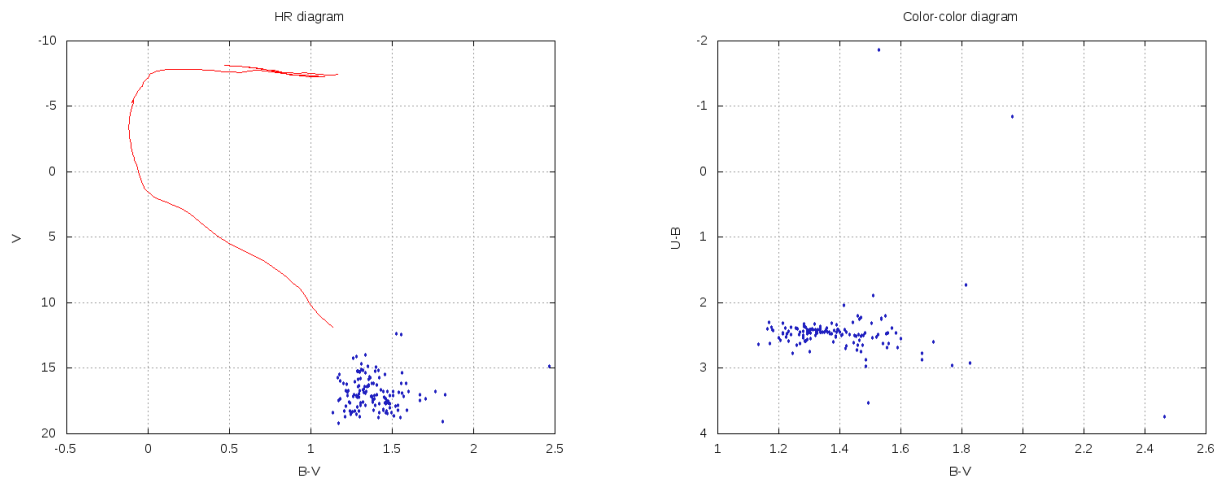
Finalment, en quant al cúmul NGC869, s'ha portat a terme l'anàlisi fotomètric d'apertura mitjançant el programa IRAF per a un conjunt de 144 estrelles. Aquestes han estat escollides de forma manual i aleatòria utilitzant com a referència la imatge obtinguda amb el filtre U. D'aquesta manera es garanteix l'existència de dades registrades amb el filtre menys eficient:



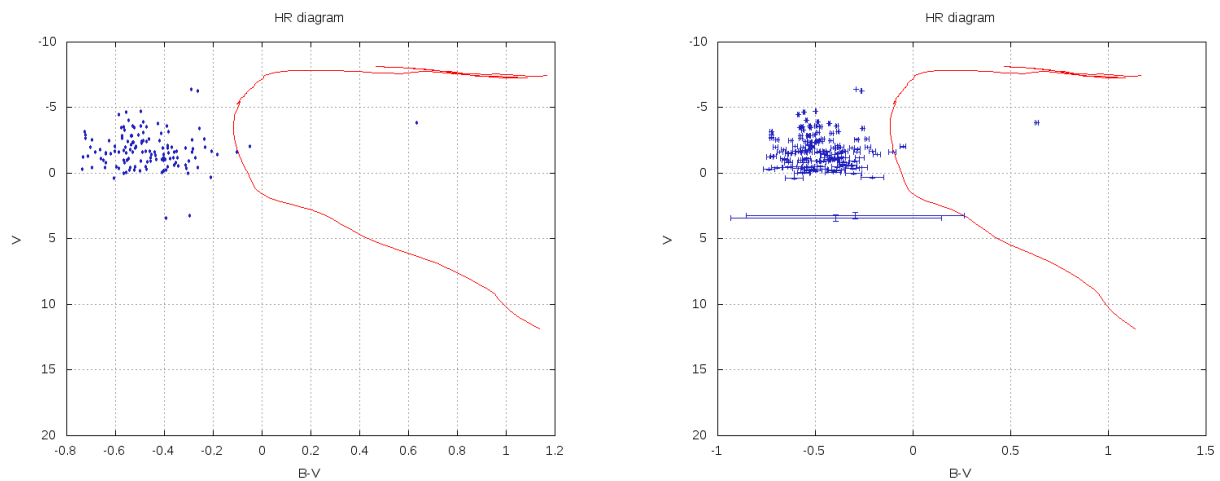
A diferència del programa Iris, IRAF disposa de comandes pròpies per a la resolució de les equacions de transformació i no ha estat necessari utilitzar programes complementaris com l'Excel.

A continuació es presenten les dades i diagrames més representatius, així com la imatge RGB.

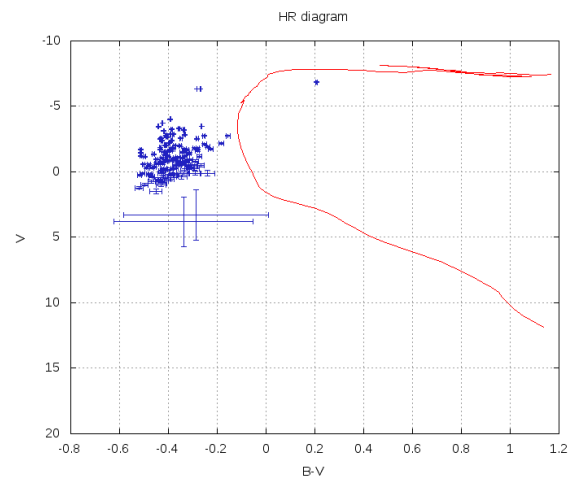
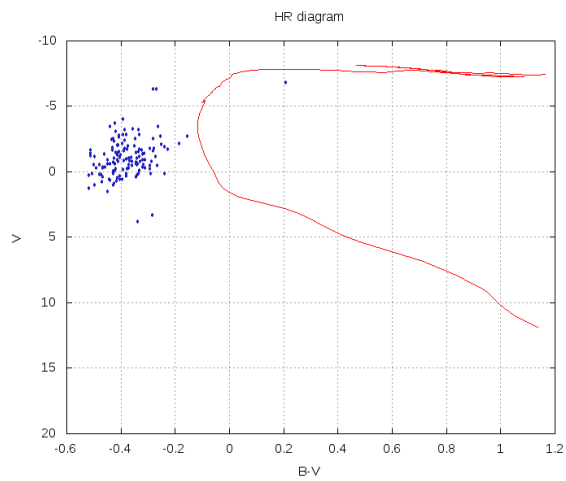
- Diagrama HR i color-color per mesures instrumentals



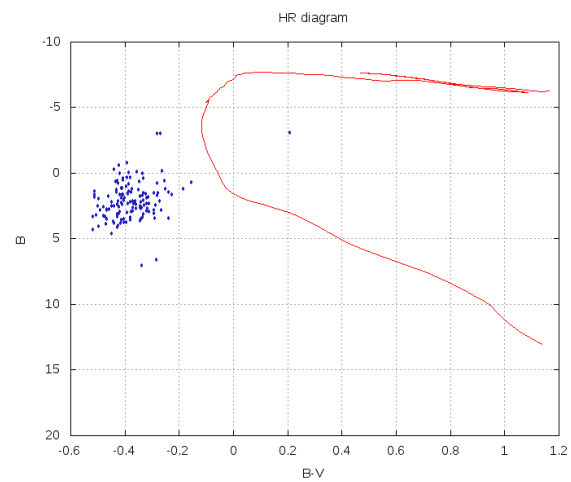
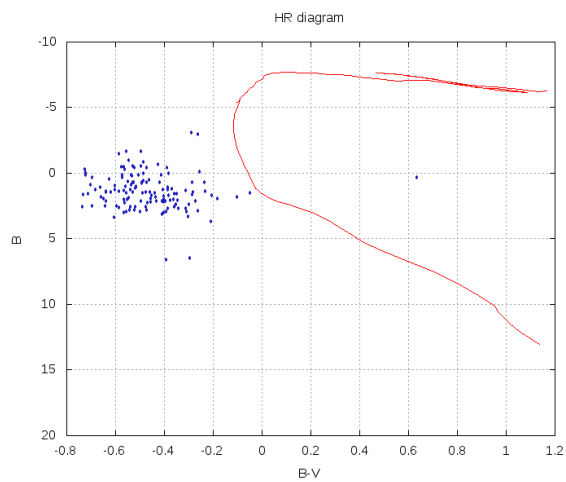
- Diagrama HR V vs $B-V$ pel cas simple (esquerra) i el mateix amb barres d'error (dreta)



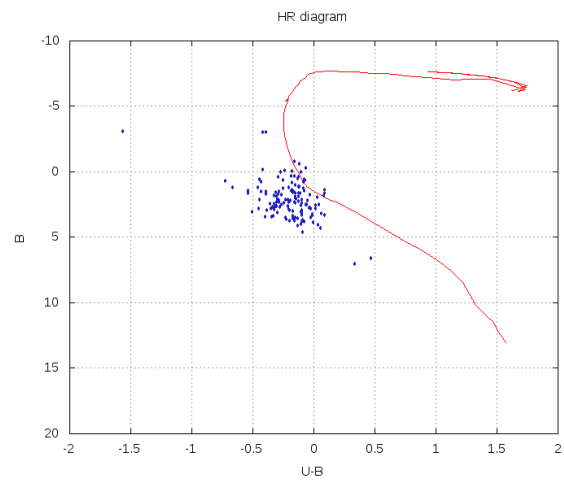
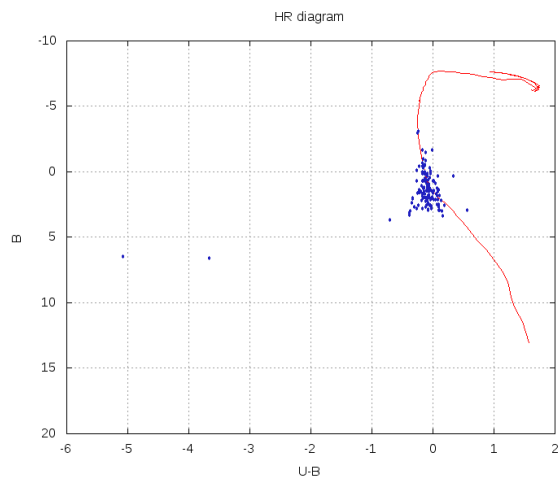
- Diagrama HR V vs BV pel cas normal (esquerra) i el mateix amb barres d'error (dreta)



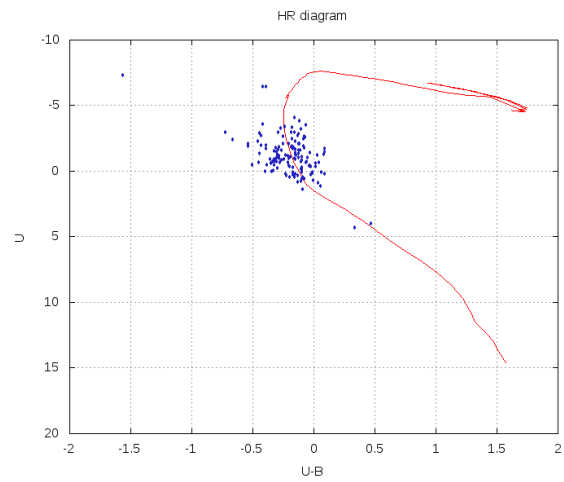
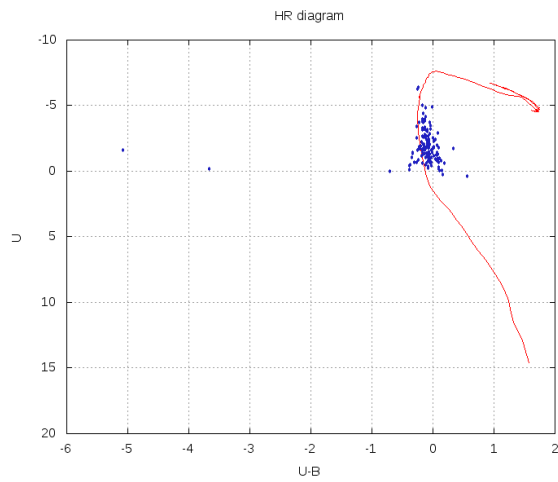
- Diagrama HR B vs BV pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



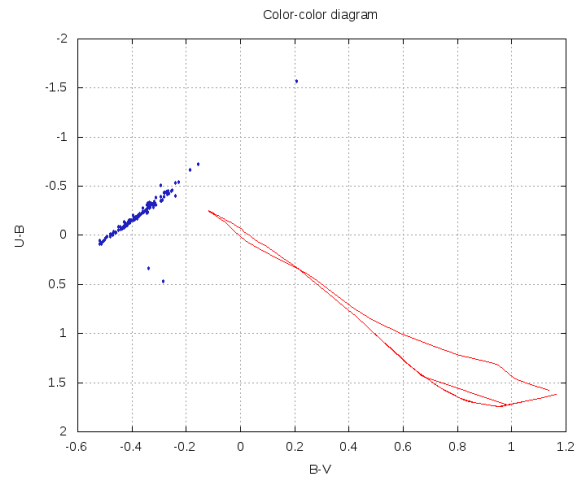
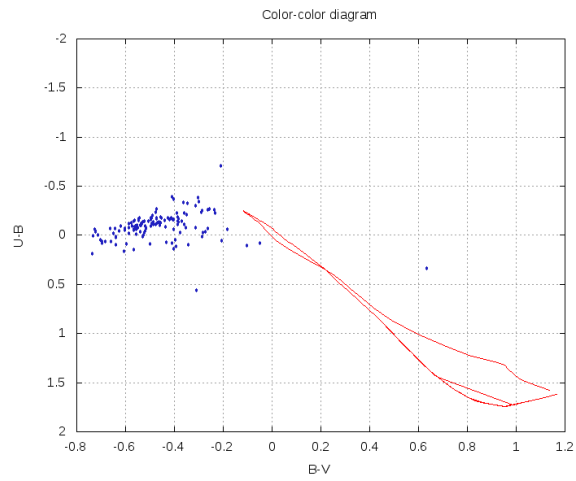
- Diagrama HR B vs UB pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



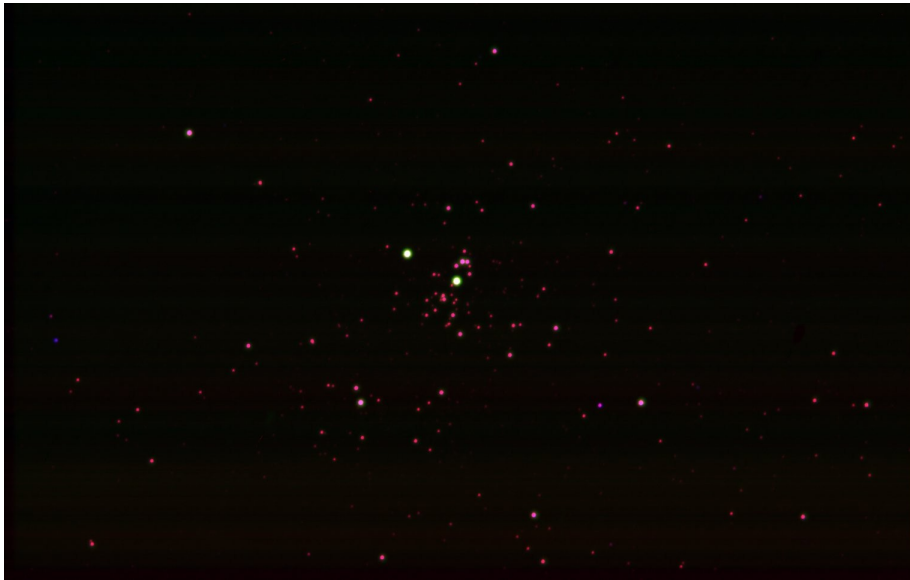
- Diagrama HR U vs UB pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



- Diagrama color-color UB vs BV pel cas simple (esquerra) i el normal (dreta)



- Imatge RGB del cúmul



6 Conclusions

Degut al reduït conjunt d'observacions d'estrelles estàndard, els valors de les constants per a la transformació a magnituds absolutes presenten una incertesa significativament elevada pel cas normal ($v_{inst} = V - v_1 + v_2 X - v_3 (B - V)$). En conseqüència, per l'anàlisi final i l'extracció de conclusions s'utilitzaran exclusivament les dades del cas simple ($v_{inst} = V - v_1 + v_2 X$).

En quant als resultats obtinguts mitjançant el programa Iris i l'entorn IRAF, les diferències observades són relativament petites però suficients com per posar en qüestió quin és el mètode més adient. A mode d'exemple, a continuació es comparen les magnituds aparents d'una estrella escollida a l'atzar:

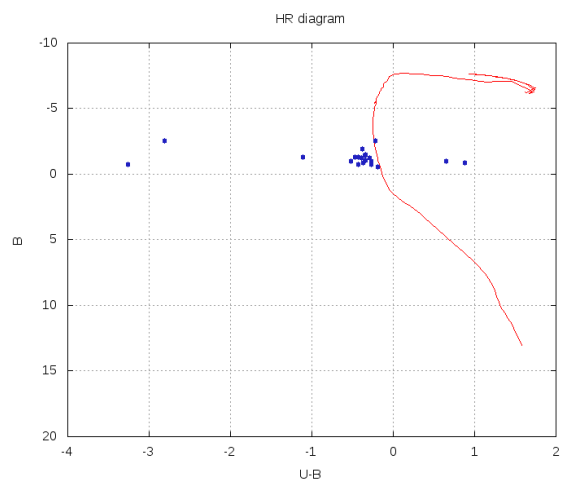
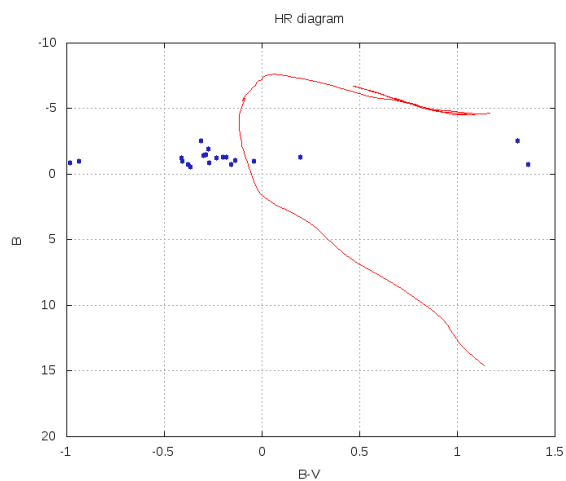
Origen	Coordenades (α, γ o equatorials)		U	B	V	B-V	U-B
Iris	892	664	9.344	9.370	9.732	-0.362	-0.026
IRAF	882.384	647.503	9.815	10.271	9.953	0.318	-0.456
Webda (estrella 839, ref. 314)	2h18 47.96	+57°17 07.96	9.258	9.748	9.385	0.363	-0.490

En termes de color B-V o U-B, els resultats d'IRAF semblen apropar-se més als de Slesnick C.L et al (2002)⁶, obtinguts mitjançant la base de dades Webda. No obstant, la magnitud al filtre V obtingut amb Iris és lleugerament més aproximada.

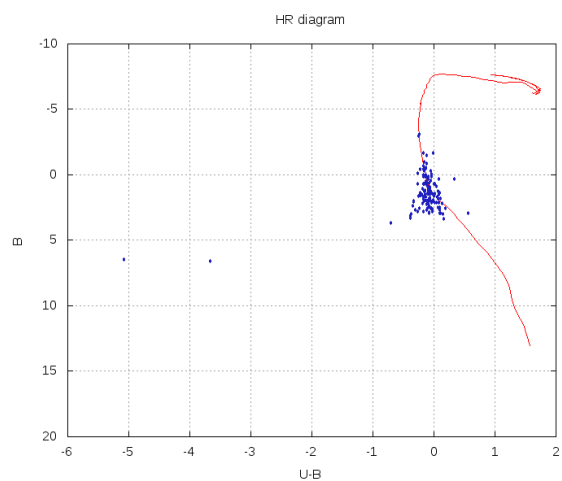
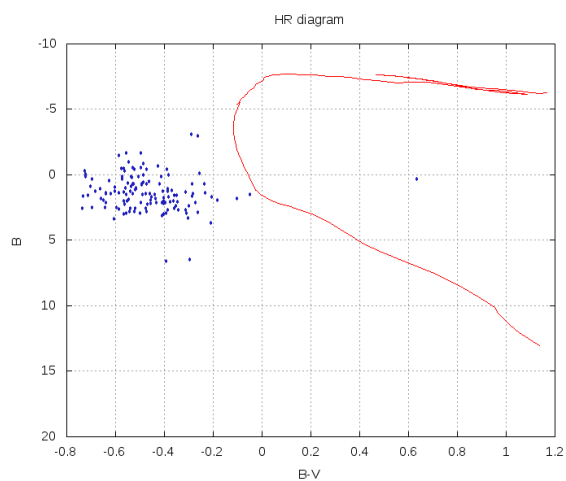
En quant a la comparació dels resultats amb la isòcrons, s'observa que és possible que existeixi algun problema a les dades registrades o amb la instrumentació. Les magnituds absolutes obtingudes es troben desplaçades a l'esquerra de la isòcrons quan es presenten amb el color B-V a l'eix d'abscisses, en canvi amb el color U-B la coincidència és molt més precisa.

⁶http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/bib_query?2002ApJ%2E%2E%2E576%2E%2E880S

Diagrames HR a partir de dades processades amb Iris



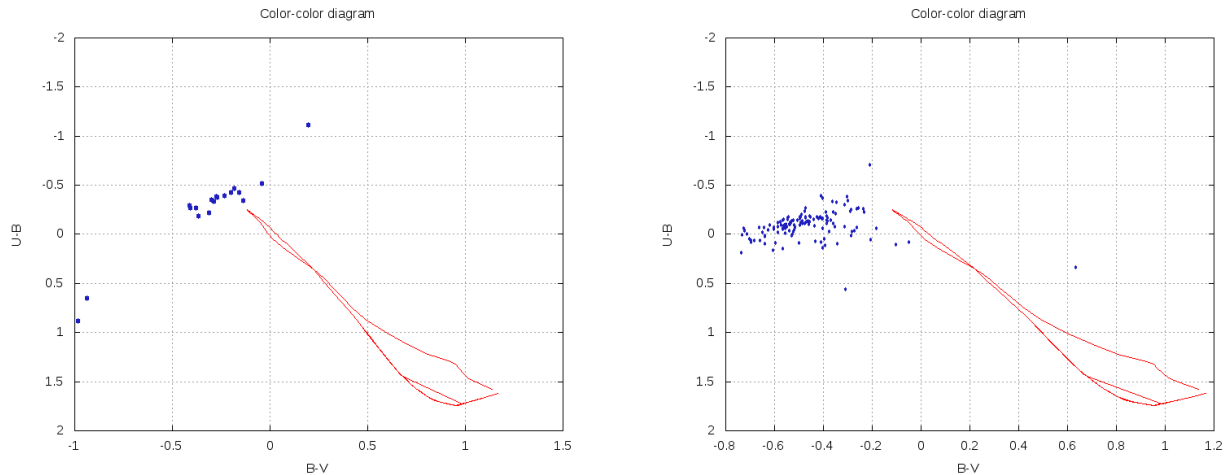
Diagrames HR a partir de dades processades amb IRAF



Aquest problema impossibilita la correcta classificació de les estrelles utilitzant exclusivament el diagrama HR amb el color B-V a l'eix d'abscisses.

L'efecte del problema exposat també es detectable mitjançant els diagrames color-color:

Diagrames color-color de dades processades amb Iris (esquerra) i IRAF (dreta)



En aquest cas, aquest fet limita l'anàlisi i l'ús dels diagrames color-color per calcular l'extinció interestel·lar, intentar determinar metal·licitats o diferenciar tipus d'estrelles amb una mateixa temperatura (p.ex. seqüència principal o supergegants).

Finalment, cal destacar que durant el procés de reducció i anàlisi de les dades amb l'entorn IRAF es va detectar un error que afecta a les plataformes de 64 bits (el qual va ser reportat i confirmat pels desenvolupadors⁷). Freqüentment s'utilitzen eines informàtiques per a l'anàlisi científic, així com per l'execució de simulacions mitjançant models matemàtics, els resultats dels quals poden tenir un impacte important al món científic. Per tal de poder confiar en els tractaments informàtics, és extremadament rellevant que el *software* es trobi adequadament dissenyat i constantment validat utilitzant metodologies de programació reconegudes per la indústria.

⁷<http://iraf.net/phpBB2/viewtopic.php?p=1466422#1466422>

7 Bibliografia

- Astronomia Fonamental. Vicent J.Martínez, Joan A. Miralles, Enric Marco, David Galadí-Enríquez. PUV.
- Fundamental Astronomy. Hannu Karttunen. Springer.
- Arlo U. Landolt. 1992. *UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator* . Louisiana State University Observatory.
<http://adsabs.harvard.edu/abs/1992AJ....104..340L>
- Landolt fields
<http://www.physics.ucf.edu/~yfernandez/iraf/ss.html>
- Base de dades SIMBAD
<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- General Catalogue of Variable Stars
<http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs/>
- Webda: Stellar Clusters in the Galaxy and the Magellanic Clouds (BBDD cúmuls)
<http://www.univie.ac.at/webda/>
- Isaac Newton Group of Telescopes – Standard stars and visibility (utilitzant Calar Alto com observatori per ser l'únic que es troba a la península ibèrica)
<http://catserver.ing.iac.es/landscape/>
- Isaac Newton Group of Telescopes – Object Visibility
<http://catserver.ing.iac.es/staralt/>
- Serviastro. Departament d'Astronomia i Metereologia de la Universitat de Barcelona.
<http://serviastro.am.ub.es/>
- American Association of Variable Star Observers. www.aavso.org

Astronomia observacional – Fotometria CCD – Montsec

- CMD 2.2 input form - A web interface dealing with stellar isochrones and their derivatives

http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd_2.2

- PC-IRAF V2.12 Installation guide (2002). Doug Tody and Mike Fitzpatrick.
- A beginner's guide to using IRAF (1993). Jeannette Barnes.
- A user's guide to stellar CCD Photometry with IRAF (1992). Philip Massey and Lindsey E. Davis.
- Photometry using IRAF (1994). Lisa A. Wells.
- Tutorial Iris

<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>

- Tutorial per a la realització de mínims quadrats amb Excel

<http://www.youtube.com/watch?v=BfdvfTrJAYs>

- Extinció
www.univie.ac.at/chemodynamics/hensler/Lectures/ISM.../09.ISM.V.pdf
<http://articles.adsabs.harvard.edu//full/1955ApJ...122..142J/0000145.000.html>

- Software:

- SkyChart III Español
- Cartes du Ciel - SkyChart
<http://www.ap-i.net/skychart/start>
- Iris
<http://www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm>
- IRAF
<http://iraf.noao.edu/>