

## VARIABLES EN M13: ASTROS NO VARIABLES

Francisco A. Violat Bordonau - [violat@olanet.net](mailto:violat@olanet.net)

Toni Bennasar Andreu

Asesores Astronómicos Cacereños

**En este nuevo trabajo presentamos los resultados fotométricos de algunas estrellas sospechosas de variabilidad: en la totalidad de los casos, dentro de la precisión de nuestras mediciones, estos astros no varían en absoluto...**

En junio de 2000 se publicó el trabajo "Variables en M13" del Dr. Wayne Osborn (Universidad Central de Michigan); en él se presentaba fotometría B y V de 104 estrellas del cúmulo indicando el autor que algunas de ellas podían ser variables; el listado de éstas (que incluye el número Ludendorff, la denominación si ya es variable, su magnitud V e índice de color B-V) es el siguiente:

L194	(V19)12.10	1.50
L261	12.20	1.39
L414	(V38)12.15	1.45
L598	(V24)12.04	1.61
L687	12.95	1.02
L773	13.16	1.03
L961	13.41	0.93

Como puede verse entre estas sospechosas teníamos a las bien conocidas variables V19 y V24, esta última demasiado pegada a una estrella también muy brillante (ahora V39, Kopacki *et al.*, 2003) como para ser fácilmente estudiada en condiciones normales; salvo L687 el resto (incluyendo V24, pese a que está muy próxima al núcleo y a la también brillante V39) han sido observadas y medidas por nosotros. (Nótese que L414 es ahora la nueva variable V38: ésta, al igual que V24 y V39, no se incluyen aquí ya que serán tratadas independientemente en futuros artículos.)

En dicho trabajo se lanzaba también una interesante hipótesis: todas las gigantes rojas cuyo índice de color B-V fuese igual o superior a 1.45 eran variables... merecía la pena comprobarlo.

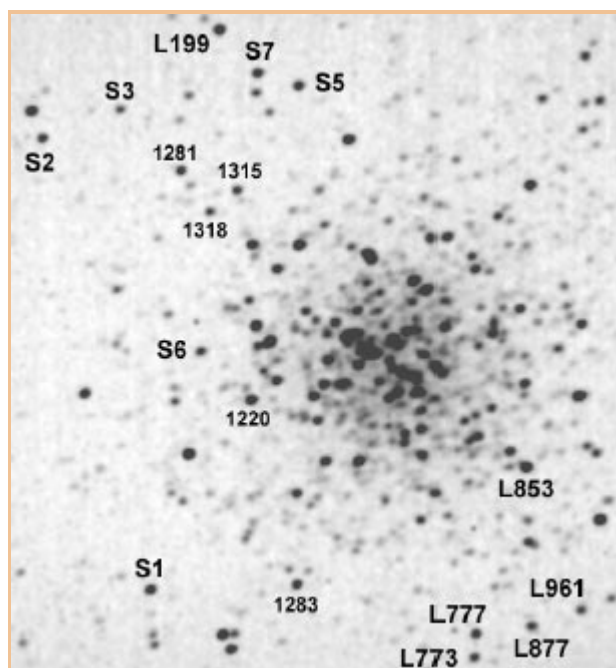


Figura 1: Imagen digital del cúmulo M13 mostrando la posición de las 12 estrellas estudiadas y de los 5 astros de comparación que se han utilizado. (Toni Bennasar, 2002)

Dedicados al estudio de distintas estrellas variables de M13 decidimos que podíamos ampliar nuestro trabajo: dado que en cada imagen del globular podemos apreciar, sin mucho esfuerzo, varios centenares de astros hasta la magnitud 15-16 podíamos intentar medir algunas de las *presuntas variables* de Osborn; si eran variables quizá pudiésemos determinar su amplitud y período, si no lo eran podríamos confirmarlo con nuestros datos y olvidarnos de ellas, o incluso utilizarlas -en el futuro- como astros de comparación y/o chequeo fotométrico ya estudiados por nosotros.

Como en campañas anteriores hemos utilizado el bien conocido software IRIS, de Christian Buil, para medir las imágenes obtenidas con el catadióptrico de 203 mm; después de obtener las curvas de brillo de todas las estrellas bajo estudio comprobamos con estupor que los resultados **no eran válidos** (salvo para V11 y alguna otra variable de gran amplitud, como V2), de modo que decidimos volver a medir todas las imágenes usando en esta ocasión el programa *AstroArt*.

Puesto que en distintas estrellas **no variables** apreciábamos la misma curiosa *caída de brillo*, sospechamos que sería la estrella de calibración fotométrica (**L199**, de magnitud V 12.21) la que debía ser variable: de este modo la aparente caída de brillo registrada en las estrellas fijas no era más que el "reflejo" de su pérdida de luminosidad con el tiempo. Era preciso comprobarlo para no cometer el mismo error en el futuro.

Ya puestos a medir, y dado que confiábamos en la potencia fotométrica de **AstroArt** (alabada por muchos aficionados), nos atrevimos a ampliar el número de estrellas bajo estudio hasta llevar esta cifra a 30 por imagen; el listado completo de los astros medidos es el siguiente:

<b>V18</b>	<b>S2</b>	(L77)	<b>S3</b>	(L109)
<b>L199</b>	<b>S7</b>	(L244)	<b>S5</b>	(L316)
<b>V38</b>	<b>V11</b>		<b>S6</b>	(L198)
<b>V43</b>	<b>V8</b>		<b>V2</b>	
<b>V19</b>	<b>V20</b>		<b>S1</b>	(L158)
<b>L773</b>	<b>L777</b>		<b>L877</b>	
<b>L961</b>	<b>V33</b>		<b>V15</b>	
<b>V24</b>	<b>V39</b>		<b>V34</b>	
<b>V40</b>	<b>V41</b>		<b>L853</b>	
<b>V17</b>	<b>V31</b>		<b>V6</b>	

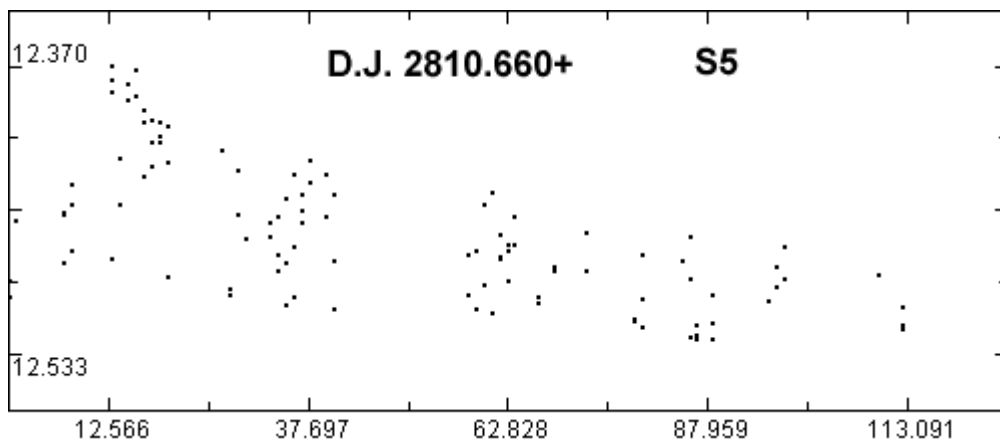


Figura 2. Caída de brillo de la estrella **S5** durante el año 2003 medida con *IRIS*: tal como puede apreciarse el descenso de brillo (sólo 0.163 magnitudes) es constante a lo largo de toda la campaña fotométrica.

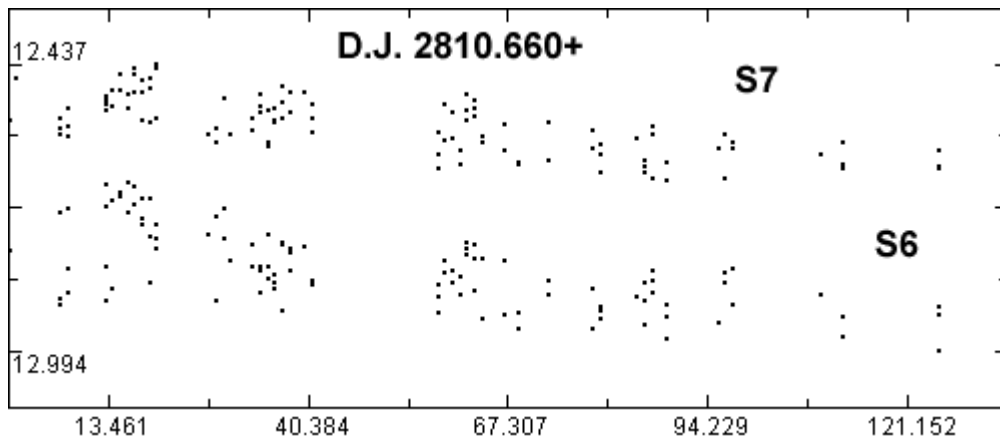


Figura 3. Caída de brillo de las estrellas **S7** y **S6** durante el año 2003 medida con *IRIS*: la pérdida de magnitud es idéntica a la de **S5**.

De ellas 12 (el 40%) son astros sospechosos de variabilidad o no variables elegidas por nosotros (ver figura 1) para comprobar su estabilidad lumínica; podemos destacar en la lista las cefeidas **V2** y **V6** y las débiles RR Lyrae **V8**, **V31** y **V34**; las 6 estrellas rotuladas con la sigla **S** (de *Star*) fueron elegidas en la campaña de 2001 para su estudio debido a su alejamiento del núcleo y a su relativa soledad en la zona: de todas ellas sólo **S4 (V43)** ha resultado ser una nueva variable, siendo confirmada por Kopacki y equipo poco antes de que nosotros publicásemos nuestros primeros resultados, a finales del verano de 2001. No mostramos en este trabajo su curva de luz ya que será estudiada en un artículo futuro.

*AstroArt\** es un programa que permite no sólo hacer astrometría de calidad, sino también fotometría de precisión; para ello es preciso comenzar por calibrar cada imagen eligiendo 5 estrellas no variables previamente bien estudiadas por astrónomos profesionales (L222 y L261 por Kopacki en 2001, el resto por Osborn en 2000), cuyos parámetros (número Ludendorff y magnitud  $V^{**}$ ) son los siguientes:

L261	12.20 <sup>c</sup>
L169	12.81 <sup>c</sup>
L353	12.83 <sup>c</sup>
L222	13.15 <sup>c</sup>
L201	13.18 <sup>c</sup>

(\*) De la firma [MSB Software](#)

(\*\*) Para evitar confusiones las magnitudes tomadas del trabajo de Cudworth-Monet (1979) se marcan con la letra **b**, las de Osborn (2000) con la letra **c**. Una vez calibrada la imagen, y comprobada la correcta identificación de cada uno de los astros de referencia, procedimos a obtener la fotometría de todas las estrellas: dependiendo de la calidad de las tomas (enfoque, seguimiento o relación señal/ruido) el programa podía identificar entre 150 y 400 estrellas por imagen; ahora bastaba ir tocando sobre cada una de ellas para obtener automáticamente su magnitud instrumental (este proceso era más lento, delicado y sujeto a errores humanos con *IRIS* ya que había que buscar a mano el fotocentro de cada estrella). En las primeras pruebas comprobamos con total satisfacción que la diferencia entre la magnitud  $V$  facilitada por Osborn (o Cudworth y Monet cuando Osborn no las había estudiado) y la magnitud instrumental recién obtenida diferían de muy pocas milésimas a pocas centésimas de magnitud, según el brillo de la estrella, la calidad de la imagen y el apiñamiento de la zona en la que se situase.

Para la detección de variabilidad podemos emplear dos métodos distintos:

a) el análisis de la curva de luz de cada estrella de la muestra, observando su magnitud y comportamiento lumínico a lo largo del tiempo.

b) el examen de los valores de la desviación típica respecto al valor medio de los valores de la fotometría individuales.

Observando las curvas de luz de las estrellas estudiadas comprobamos que la **amplitud** de las mismas (*amplitud ficticia* podríamos llamarla) oscila entre 0.12 y 0.24 magnitudes como máximo, aunque este valor está concentrado en el rango 0.12-0.19 magnitudes; Welty, en su trabajo sobre búsqueda de estrellas variables en cúmulos globulares (1985), comenta acertadamente que la desviación típica  $\sigma$  es un buen indicador de variabilidad, ya que mientras que las variables presentan un valor grande las estrellas de brillo constante van a mostrar sólo la desviación estándar  $\sigma$  originada por el **error aleatorio** producido al efectuar las mediciones.

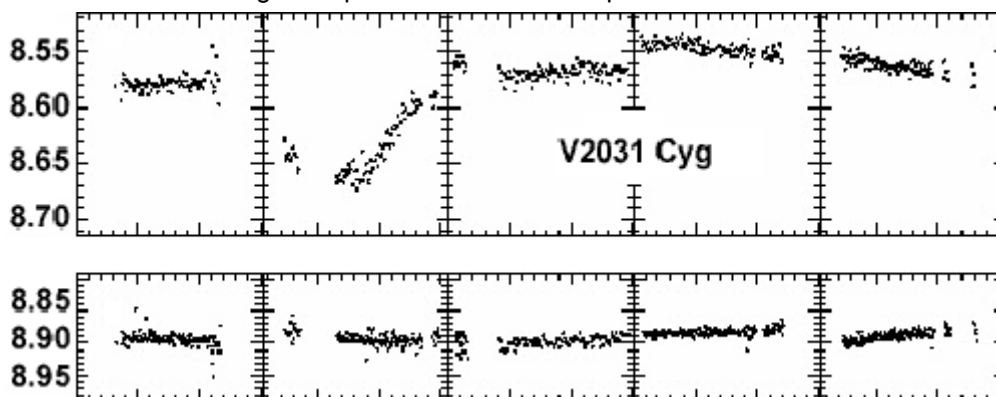


Figura 4. Curva de luz de la binaria eclipsante V2031 Cyg.

En la figura 4 podemos apreciar la curva de luz de la binaria eclipsante **V2031 Cyg** y de una de las estrellas de comparación, tomadas por Kim y Lee (1996) con el telescopio de 61 cm de apertura del *Seoul National University Observatory*; notemos que esta última se mantiene estable en la magnitud 8.91 pero con una dispersión de 0.1 magnitudes en la primera noche de observación, siendo el error de  $\pm 0.05$  magnitudes.

Al analizar las primeras 78 mediciones de la cefeida **V2** (figura 5) apreciamos una dispersión de hasta 1.23 magnitudes en las observaciones: esto no es debido al error aleatorio, sino a su gran amplitud lumínica.

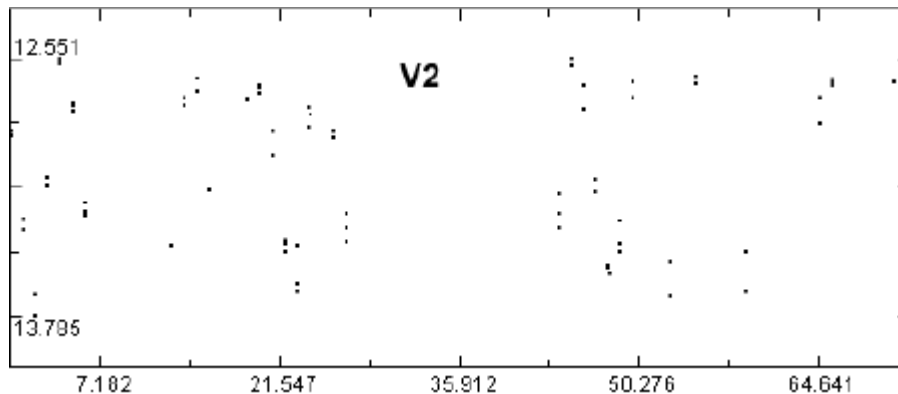


Figura 5. Curva de luz de V2 en bruto: la dispersión de las mediciones (1.23 magnitudes) es debida a su variabilidad.

En el caso que nos ocupa la pequeña amplitud de las curvas de brillo que obtenemos puede interpretarse como *oscilaciones lumínicas espúreas* de 0.05 a 0.11 magnitudes sobre o bajo su magnitud media. Dada la pequeña abertura del equipo utilizado (203 mm), la baja relación señal/ruido en los astros más débiles (exposiciones de 40 s con filtro V Johnson), la posición de la estrella en el cúmulo y la calidad de las imágenes podemos achacar esta amplitud ficticia a meros **errores aleatorios** en el proceso de medición y no a una verdadera variabilidad (sólo podríamos detectar una variabilidad real cuando las oscilaciones de brillo fuesen **superiores** al error cometido: amplitudes de 0.05 a 0.09 magnitudes como poco); no debemos olvidar que estamos midiendo el brillo V Johnson de astros cuya magnitud es siempre superior a la 12.2...

El resultado ha sido satisfactorio y lo comentamos estrella a estrella indicando en cada caso la magnitud  $V_b$  o  $V_c$ , el índice de color B-V y su temperatura efectiva (del trabajo de Pilachowski *et al.*, 1996) si ésta se conoce; dado que la magnitud estándar de las estrellas presenta una precisión de 2 dígitos (es decir, centésimas de magnitud) hemos redondeado todas nuestras magnitudes instrumentales también a 2 dígitos para poder compararlas. La magnitud

instrumental media  $V_i^*$  no es más que **la media** de las mediciones obtenidas de cada astro (de 112 a 94, según la estrella) y nos muestra cuál es el brillo promedio del mismo; aunque este dato no puede compararse directamente con los resultados publicados sin haber realizado previamente una adecuada calibración fotométrica, la diferencia entre nuestras magnitudes y las de Osborn o Cudworth y Monet son muy reducidas. Veamos ya los resultados mostrados en las figuras 6, 7 y 8. (\*) Hemos determinado estos valores por medio de las funciones estadísticas del programa **Apple Works 6**, tratando cada conjunto de datos -estrella- de modo independiente.

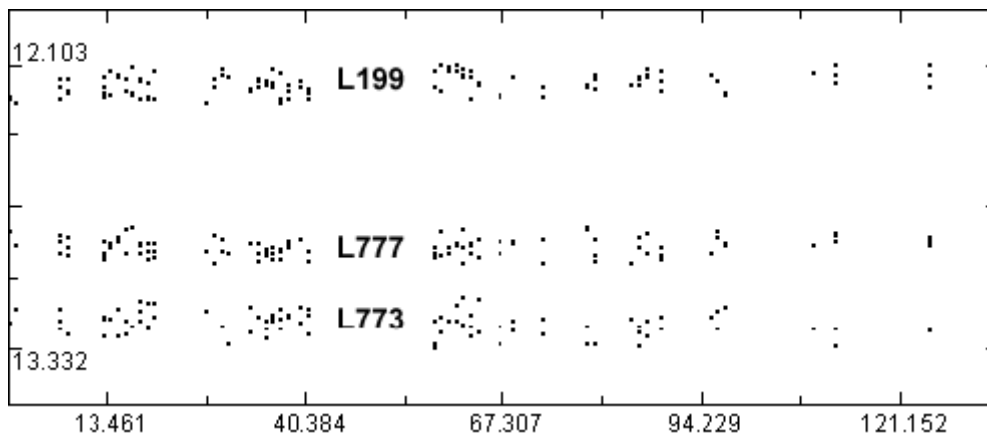


Figura 6. Curvas de brillo de L199, L777 y L773: todas ellas dibujan líneas rectas y, por tanto, no parecen ser variables.

- **L199:**

De magnitud 12.21c es un astro empleado por nosotros como estrella de calibración fotométrica en las tres campañas (2001, 2002 y 2003); las oscilaciones lumínicas de S5 (figura 2), S6 y S7 (figura 3), todas ellas no variables cuya magnitud había ido bajando sorprendentemente de modo coherente y constante a lo largo de la campaña 2003, así como los nulos resultados obtenidos en variables de reducida amplitud (como V18 o V38) nos llevaron a pensar que realmente era variable. Las curvas de luz de S5 de los años 2001-2003 (que reflejaban las *presuntas oscilaciones lumínicas* de L199) eran consistentes con un período superior a los 245 días; el programa *AstroArt* ha puesto de manifiesto lo que ya habían afirmado los profesionales: L199 es una estrella de brillo constante que, como máximo, puede presentar oscilaciones de luz inferiores a 0.05-0.08 magnitudes. Su índice de color B-V (1.35) es bajo siendo un astro moderadamente caliente (en torno a los 4200° K) y, por tanto, no variable según la hipótesis presentada por Osborn. Se ha mostrado constante en su brillo dentro del rango 12.103- 12.257 (mag. instrumental media  $V_i$ : 12.186) con una amplitud ficticia (*dispersión*) de 0.154 magnitudes, que equivale a un brillo constante de magnitud 12.186 ( $\sigma$ : 0.042). La diferencia entre nuestra  $V_i$  y el valor facilitado por Osborn es de -0.02 magnitudes.

- **L777:**

No fue estudiada por Osborn pero al situarse lejos del núcleo nos ha parecido interesante seguirla; de magnitud 12.86b, índice de color B-V 1.13 y temperatura efectiva 4450° K es lo suficientemente caliente como para no ser tampoco una variable; las mediciones así lo muestran a lo largo de todo el tiempo observado ya que se ha detectado dentro del rango 12.811-12.971 ( $V_i$ : 12.895) con una amplitud ficticia de 0.160 magnitudes: esto equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 12.895 ( $\sigma$ : 0.039). La diferencia de nuestra  $V_i$  con el brillo dado por Cudworth y Monet es de 0.03 magnitudes.

- **L773:**

Con magnitud 13.16c es uno de los astros más débiles estudiados, dejando aparte las estrellas RR Lyrae que han sido incluidas también. Por su índice de color B-V (1.03) no debe ser variable ya que es bastante más caliente que las estrellas gigantes rojas que sí lo son: nuestras mediciones la muestran constante en su brillo a lo largo del período estudiado en el rango 13.113- 13.332 ( $V_i$ : 13.226); su debilidad ha ocasionado una mayor dispersión en las mediciones que sube a nada menos que 0.219 magnitudes: esto equivale a haber medido el

brillo de un astro no variable de magnitud 13.226 ( $\sigma$ : 0.051). La diferencia entre la magnitud instrumental media  $V_i$  y el valor dado por Osborn es de 0.07 magnitudes.

- S2** (L77): Con magnitud 12.77b es otra de las estrellas no medidas ni estudiadas por Osborn, de modo que su magnitud  $V$  proviene del viejo trabajo de Cudworth-Monet (1979). Situada al lado de V18 posee una temperatura efectiva de 4350° K (índice de color B-V: 1.20) y es demasiado caliente para ser variable: se ha detectado en el rango 12.675-12.808 ( $V_i$ : 12.749) con una amplitud ficticia de 0.133 magnitudes, lo que equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 12.749 ( $\sigma$ : 0.039). La diferencia entre la magnitud instrumental media  $V_i$  y el dato de Cudworth y Monet es de -0.02 magnitudes.

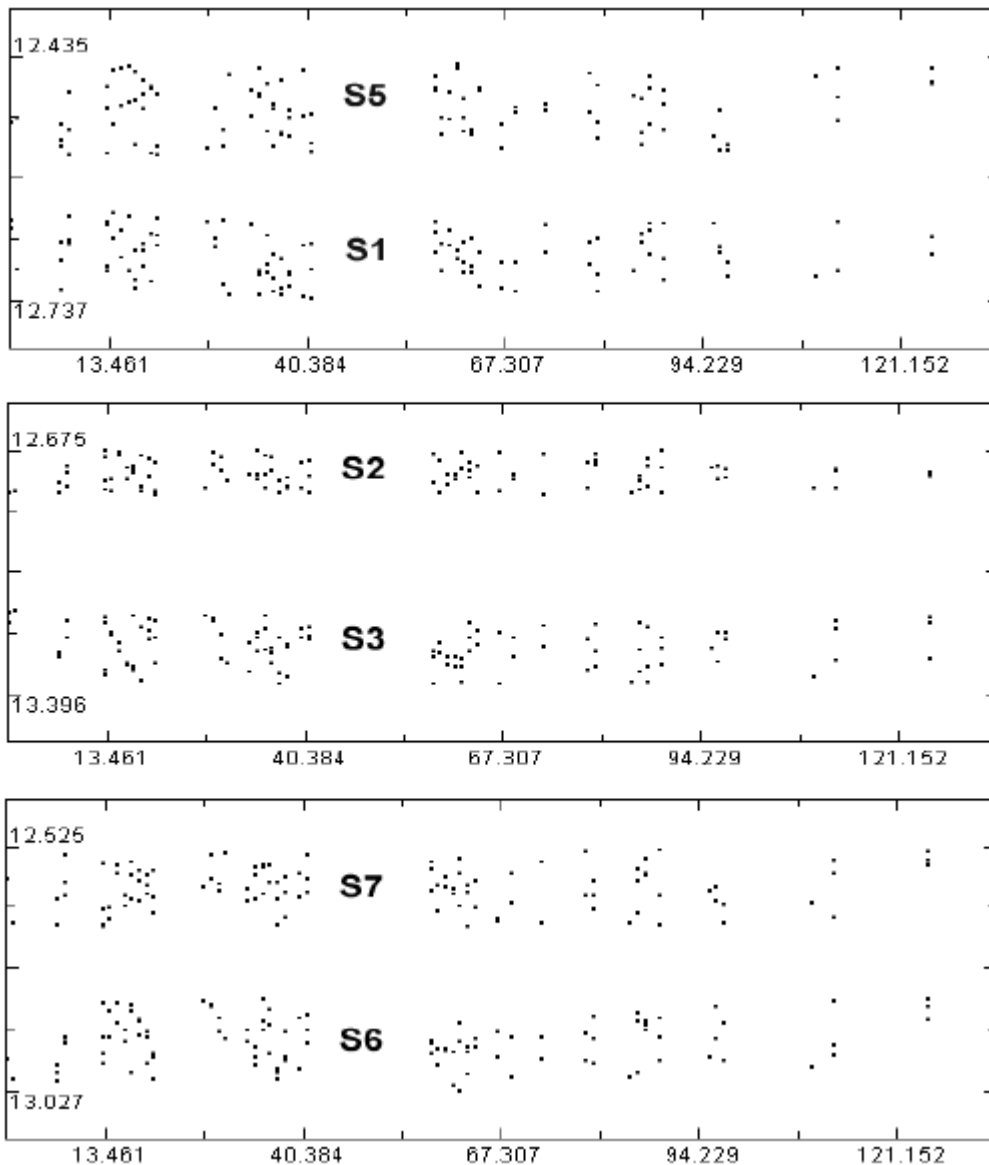


Figura 7. Curvas de brillo de las 6 estrellas **S** medidas con *AstroArt*, las cuales se han mostrado constantes (dentro de la precisión de nuestras mediciones) a lo largo de la campaña fotométrica del año 2003: han sido dispuestas en parejas para apreciar mejor la diferencia de brillo entre ellas, la dispersión en las mediciones y los rangos instrumentales medidos. En el eje vertical la magnitud instrumental  $V_i$ , en el eje horizontal la fecha (DJ 52819.660 + día).

- S3** (L109):

De magnitud 13.32b es lo suficientemente débil como para no encontrarse en la cima de la rama de las gigantes rojas (reino de las posibles variables pulsantes), presentando una temperatura efectiva de 4750° K (índice de color B-V: 0.95); ha aparecido constante en el rango 13.150-13.396 (Vi: 13.257); su debilidad ha originado una mayor *dispersión* que sube a nada menos que 0.246 magnitudes: esto equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 13.257 ( $\sigma$ : 0.061). La diferencia entre la Vi que nosotros obtenemos y la ofrecida por Cudworth y Monet es de -0.06 magnitudes.

- **S7** **(L244):**  
De magnitud 12.67b y con una temperatura efectiva en torno a los 4350° K (índice de color B-V: 1.29) tampoco debe ser variable; nuestras mediciones así lo demuestran. Se ha detectado en el rango 12.525-12.702 (Vi: 12.613) con una amplitud ficticia de 0.177 magnitudes, que equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 12.613 ( $\sigma$ : 0.045). La diferencia de nuestra Vi con el brillo facilitado por Cudworth y Monet es de -0.06 magnitudes.
- **S5** **(L316):**  
Muy similar a S7 en magnitud V (12.58b), índice de color B-V (1.23) y temperatura efectiva (4350° K), tampoco presenta oscilaciones de brillo dentro de nuestra precisión instrumental. Se ha medido en el rango 12.435-12.564 (Vi: 12.502) con una dispersión de 0.129 magnitudes, lo que equivale a un astro fijo de magnitud 12.502 ( $\sigma$ : 0.034). La diferencia de nuestra Vi con la magnitud determinado por Cudworth y Monet es de -0.08 magnitudes.
- **S6** **(L198):**  
Con magnitud 12.95b es un poco más caliente que las anteriores (4500° K e índice de color B-V: 1.07) por lo cual tampoco debemos esperar variabilidad alguna; nuestras mediciones muestran constante en su brillo a lo largo del periodo estudiado en el rango 12.829-13.027 (Vi: 12.927); su debilidad ha originado una mayor amplitud ficticia (*dispersión*) que sube a nada menos que 0.198 magnitudes: esto equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 12.927 ( $\sigma$ : 0.048). La diferencia entre la magnitud instrumental media Vi y el valor ofrecido por Cudworth y Monet es de -0.02 magnitudes.
- **S1** **(L158):**  
De magnitud 12.70b es levemente más fría (4400° K e índice de color B-V: 1.19) pero a la vez más caliente que las gigantes rojas variables bien conocidas; se ha mostrado constante en brillo dentro del rango 12.630-12.737 (Vi: 12.680) con una dispersión de 0.107 magnitudes, lo que equivale a un brillo constante de magnitud 12.680 ( $\sigma$ : 0.029). La diferencia entre nuestra Vi y el valor facilitado en el trabajo de Cudworth y Monet es de -0.02 magnitudes.

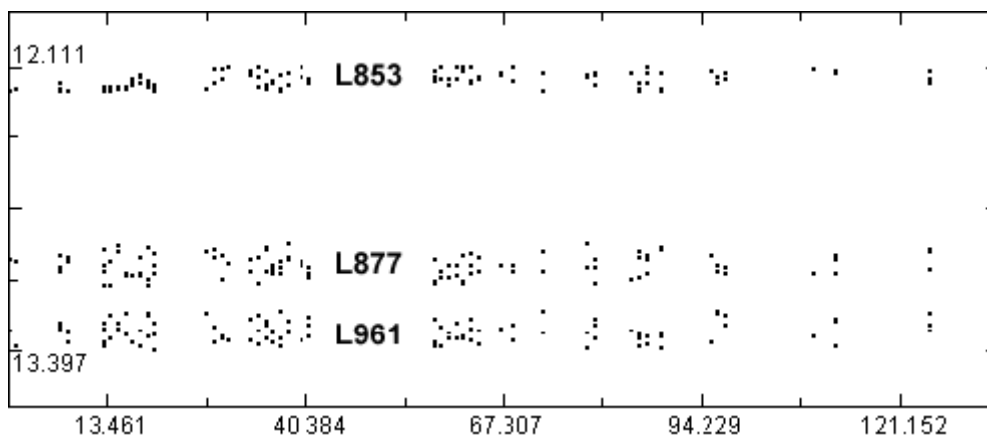


Figura 8. Curvas de brillo de L853, L877 y L961: de nuevo dibujan líneas rectas y tampoco parecen ser variables.

- **L853:**

Es un astro de magnitud 12.25c con un índice de color B-V: 1.39 que no propicia la variabilidad al presentar una temperatura superficial (4200° K) levemente más caliente que la de las demás variables gigantes rojas; debido a que aparecen algunas débiles estrellas en sus inmediaciones medimos un brillo levemente superior a esta magnitud: se ha encontrado en el rango 12.111- 12.227 ( $V_i$ : 12.174) con una amplitud ficticia de 0.115 magnitudes; esto es equivalente a haber medido el brillo de un astro fijo de magnitud 12.174 ( $\sigma$ : 0.035). La diferencia con el dato de Osborn es de 0.08 magnitudes: se ha mostrado constante en brillo a lo largo de toda la campaña.

- **L877:**

Tampoco fue observada por Osborn; con magnitud 13.03b es también demasiado caliente (4500° K con índice de color B-V: 1.07) como para ser realmente variable; se la ha detectado en el rango 12.914-13.103 ( $V_i$ : 13.013) con una amplitud ficticia de 0.189 magnitudes: esto equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 13.013 ( $\sigma$ : 0.049). La diferencia entre la  $V_i$  y el brillo medido por Cudworth y Monet es igual a -0.02 magnitudes.

- **L961:**

De magnitud 13.41c es la estrella no variable más débil estudiada, de ahí que la dispersión en su curva de luz (una recta) sea medianamente grande. Por su índice de color B-V (0.93) y temperatura tan elevada (4800° K) tampoco debe ser variable: nuestras mediciones la ofrecen constante en su brillo a lo largo del período estudiado en el rango 13.221-13.397 ( $V_i$ : 13.316); su debilidad ha originado una mayor dispersión en las mediciones que sube a 0.176 magnitudes: esto equivale a haber medido el brillo de un astro no variable de magnitud 13.316 ( $\sigma$ : 0.048). La diferencia entre la magnitud instrumental media  $V_i$  y el valor de Osborn es de -0.09 magnitudes.

Pese a que la magnitud instrumental media  $V_i$  que hemos determinado no nos sirve de mucho, al no haberse transformado al sistema estándar, puede apreciarse que en la inmensa mayoría de los casos apenas si difiere en unas centésimas de magnitud de la magnitud estándar.

Estrella	V	$V_i$	Dif.	Disp.	$\sigma$	Datos
L199	12.21	12.186	-0.02	0.154	0.042	112
L77	12.77	12.749	-0.02	0.133	0.039	112
L109	13.32	13.257	-0.06	0.246	0.061	112
L244	12.67	12.613	-0.06	0.177	0.045	112
L316	12.58	12.502	-0.08	0.129	0.034	112
L198	12.95	12.927	-0.02	0.198	0.048	112
L158	12.70	12.680	-0.02	0.153	0.029	111
L773	13.16	13.226	0.07	0.219	0.051	94
L777	12.86	12.891	0.03	0.160	0.039	110
L877	13.03	13.013	-0.02	0.189	0.049	110
L961	13.41	13.316	-0.09	0.176	0.048	110
L853	12.25	12.174	-0.08	0.115	0.035	112
<b>V2</b>	<b>13.06</b>	<b>13.064</b>	<b>0.00</b>	<b>1.234</b>	<b>0.358</b>	<b>78</b>
<b>V11</b>	<b>11.95</b>	<b>11.984</b>	<b>0.03</b>	<b>0.518</b>	<b>0.137</b>	<b>91</b>
<b>V24</b>	<b>12.04</b>	<b>12.124</b>	<b>0.08</b>	<b>0.520</b>	<b>0.107</b>	<b>91</b>

Resultados obtenidos: las columnas ofrecen el nombre, la magnitud estándar  $V_b$  o  $V_c$ , la magnitud instrumental media  $V_i$ , la diferencia entre ambas, la dispersión o amplitud real (esta última sólo en las 3 variables finales), la desviación estándar  $\sigma$  y el número de medidas tomadas.

En la tabla superior mostramos los resultados de la campaña: las distintas columnas ofrecen el nombre, la magnitud estándar  $V_b$  o  $V_c$ , la magnitud instrumental media  $V_i$ , la diferencia entre ambas, la dispersión (falsa amplitud), la desviación estándar  $\sigma$  y el número de medidas tomados de cada estrella. Como comparación insertamos 3 estrellas variables (V2, V11 y V24) que permiten apreciar la diferencia en la estimación de la magnitud instrumental  $V_i$ , el error cometido con respecto a la magnitud estándar, su verdadera amplitud y la desviación típica  $\sigma$ : podemos apreciar que ésta es muy superior a la de los astros no variables también estudiados.

Otro punto a destacar es el **error aleatorio**, en este caso bien visible en forma de dispersión de puntos: incluso en el peor de los casos -astros débiles o mal situados- este valor no ha

rebasado las 0.246 magnitudes manteniéndose dentro del rango 0.115-0.219 magnitudes: por su parte  $\sigma$  ha oscilado entre 0.029 y 0.061 magnitudes.

Dado que estos valores nos parecen excesivamente altos podemos buscar en la bibliografía profesional algún trabajo similar para compararlos: encontramos el ya mencionado estudio de Welty en el que busca indicios de variabilidad al determinar el valor  $\sigma$  para distintas estrellas de M13, analizando 64 fotografías en luz azul obtenidas por Kyle Cudworth con el reflector de 100 cm del Observatorio Yerkes.

En su trabajo sólo aparecen tabuladas 6 de las 12 estrellas observadas por nosotros, aunque podemos añadir las variables V2 y V11 que sí midió con lo cual ya podemos comparar un poco mejor nuestro valor ( $\sigma_{VB}$ ) con el suyo ( $\sigma_W$ ):

Estrella	$\sigma_{VB}$	$\sigma_W$
L199	0.042	0.071
L109	0.061	0.049
L158	0.029	0.044
L773	0.051	0.054
L877	0.049	0.071
L961	0.048	0.108
V2	0.358	0.424
V11	0.137	0.189

Aunque Welty no facilita el valor  $\sigma$  para todas las estrellas que hemos estudiado notamos dos cosas: la primera de ellas es que todos nuestros valores excepto uno (el de L109) son más reducidos que los suyos y la segunda es que (salvo para la débil L961, cuyo valor es más del doble del nuestro) ambos conjuntos de datos son plenamente consistentes entre si.

Ambos equipos coincidimos en los resultados: **no apreciamos variabilidad en ninguna de las estrellas que han sido estudiadas.**

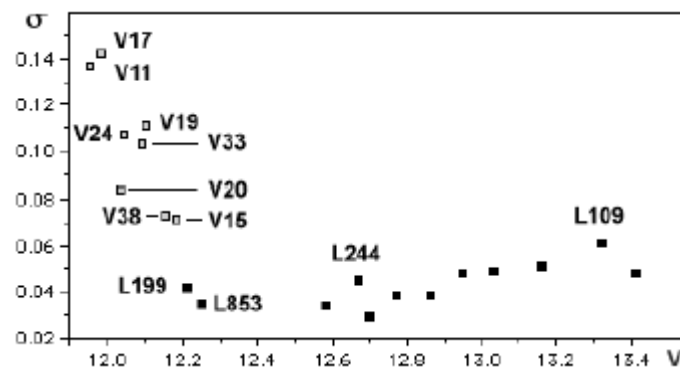


Figura 9. Búsqueda de variabilidad empleando como criterio el valor  $\sigma$ : mientras que 8 conocidas variables rojas muestran una gran dispersión (zona izquierda), las 12 estrellas estudiadas sólo presentan la dispersión aleatoria que se incrementa de modo perceptible con su debilidad.

En el figura 9 hemos querido mostrar cómo la desviación estándar nos indica el camino hacia la búsqueda de variabilidad, tomando 8 valores del trabajo de Welty (correspondiente a otras tantas variables del tipo *gigante roja*) y comparándolos con los obtenidos por nosotros en este trabajo.

Notamos enseguida que **las variables presentan valores de  $\sigma$  por encima de 0.071** pero ninguno de los nuestros, salvo los de los astros más débiles (por ejemplo L109, de magnitud 13.32), pasa de 0.06; también se aprecia que la dispersión aumenta casi de modo lineal a medida que son más débiles las estrellas estudiadas. ➔ **CONCLUSIÓN** Hemos medido **12 estrellas** -entre sospechosas de variabilidad, no variables y otros astros cuidadosamente elegidos- durante **46 noches** distintas en el intervalo **D.J. 52810.65 al 52945.27**, por medio de un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y 2.000 mm de focal, una cámara CCD *Starlight Xpress MX516* (de 16 bits) y filtro fotométrico V Johnson, analizando las imágenes

Ateniéndonos a sus curvas de brillo (dispersión de puntos) y amplitud ficticia (error) **ninguna de las estrellas bajo estudio ha mostrado variabilidad** ( $\Delta V_i < 0.1$  mag.); la desviación estándar ha oscilado entre 0.029 y 0.061 magnitudes según el brillo propio de cada estrella y su posición dentro del cúmulo.

Se ha determinado la magnitud instrumental media  $V_i$  y hemos comprobado que, salvo en 2 casos (con brillos instrumentales de hasta 0.07 magnitudes sobre la magnitud estándar), siempre obtenemos valores de **0.02 a 0.08 magnitudes** inferiores a las estándar; en un único caso (precisamente en la estrella más débil) esta diferencia llega a 0.09 magnitudes menos del brillo esperado. En 5 casos la diferencia es igual a -0.02 mag. y en los otros 7 casos el rango va de -0.09 a 0.07 mag; la **moda** nos muestra cuál el error más frecuente: **-0.02 magnitudes**.

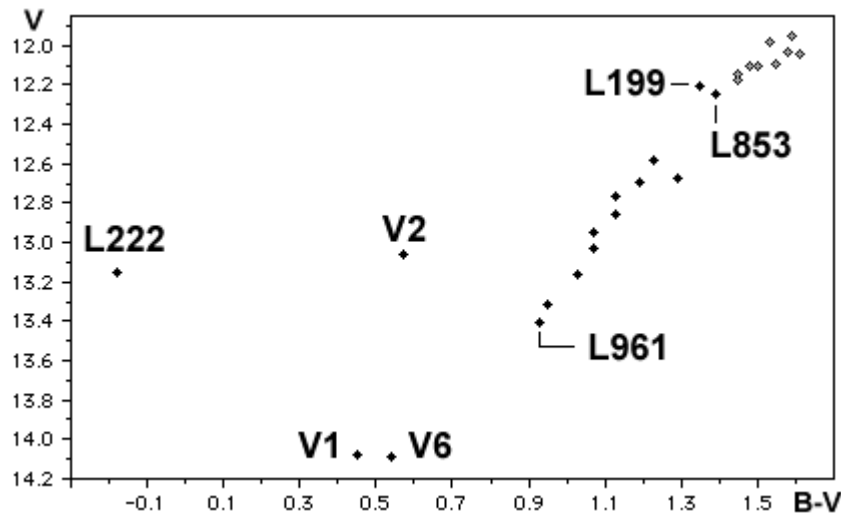


Figura 10. Sencillo diagrama H-R de las estrellas estudiadas: sólo muestran variabilidad los astros más fríos con índices de color  $B-V > 1.40$ ; para completarlo un poco hemos añadido también 3 cefeidas, una *errante azul* (L222) y 9 variables rojas (rombos grises).

Con respecto a la hipótesis de Osborn (mencionada por primera vez al final de su estudio sobre gigantes rojas de M13, del año 1977) comprobamos que los resultados fotométricos obtenidos son plenamente consistente con ella, ya que al representar en un diagrama H-R esquemático la magnitud V frente al índice de color B-V (figura 10) sólo apreciamos variabilidad en los astros con índices de color  $B-V > 1.40$  los cuales aparecen apiñados en la esquina superior derecha: hemos insertado 9 variables rojas bien estudiadas (todas las presentadas en la figura 9 además de V40), 3 cefeidas (V1, V2 y V6) y una *errante azul* (L222). Por otro lado al representar un diagrama con la magnitud V frente a la temperatura efectiva (figura 11) comprobamos lo mismo: sólo son variables aquellos astros más fríos que se aglomeran en la parte superior izquierda.

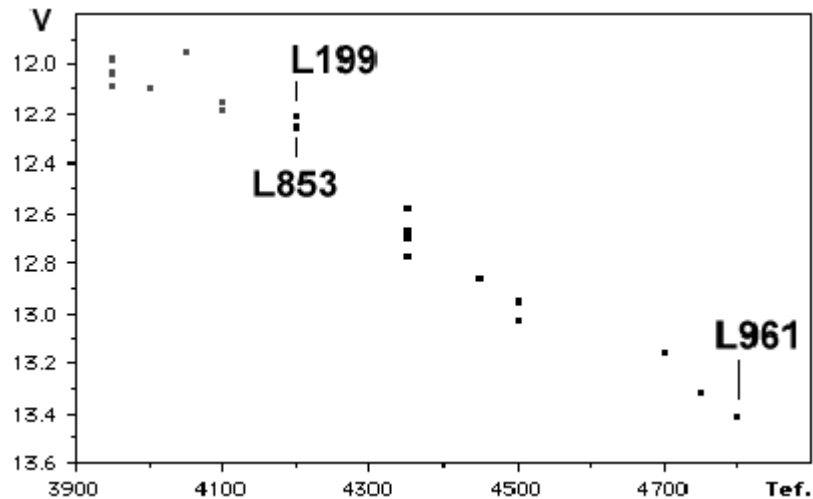


Figura 11. Posible criterio de variabilidad: las estrellas más frías (temperatura efectiva inferior a  $4100^{\circ}$  K) suelen ser variables, por contra todas las estrellas estudiadas por nosotros son algo más calientes (por encima de  $4175^{\circ}$  K) y no dan muestras de variabilidad alguna.

➔ **AGRADECIMIENTOS** Deseamos mostrar nuestro agradecimiento al **Dr. Florentino Sánchez Bajo** (Universidad de Extremadura) por sus valiosas críticas, comentarios y sugerencias que han ayudado a mejorar la calidad y contenido de este sencillo trabajo. ➔

**BIBLIOGRAFÍA** Investigación of the red variable stars of M13, Osborn, W. y Fuenmayor, F. (AJ 82, 3950, 1977).

Astrometry in the globular cluster M13. I. New proper motions and membership probabilities, Cudworth, K. M. y Monet, D. G. (AJ 84, 774C, 1979).

A search for giant and asymptotic-giant-branch variable stars in six globular clusters, Welty, D. E. (AJ 90, 1555, 1985).

Proton capture chains in globular cluster stars. I, Pilachwski, C. A., Sneden, C., Kraft, R. P y Langer, G. E. (AJ 112, 545P, 1996).

HD194378 - A New Eclipsing Binary in the Open Cluster M29 (= NGC6913), Kim, S. L. y Lee, S. W., IBVS 4331 (1996).

Variable Stars in M13, Wayne Osborn (AJ 119, 2902- 2902, 2000).

Variable Stars in Galactic Globular Clusters. C. Clement, A. C. M. Muzzin, Q. Q. Dufton, T. Ponnanpalam, J. Wang, J. Burford, A. Richardson, T. Rosebery, Jason Rowe y Helen Sawyer Hogg (AJ 122, 2587-2599, 2001).

Variable stars in the globular cluster M 13, Kopacki, G.; Kolaczowski, Z. y Pigulski, A. (A&A 398, 541K, 2003). ➔ **EN INTERNET FOTOMETRÍA CCD:**

[http://fisica.usac.edu.gt/public/tesis\\_lic/eduardo\\_e/node30.html](http://fisica.usac.edu.gt/public/tesis_lic/eduardo_e/node30.html)

**Dispersión y error:**

<http://vppx134.vp.ehu.es/fisica/agustin/errores/node13.html>

**Desviación estándar:**

<http://vppx134.vp.ehu.es/fisica/agustin/errores/node14.html>

**Errores en las medidas:**

[http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/teoria/A\\_Franco/unidades/medidas/medidas.htm](http://www.edu.aytolacoruna.es/aula/fisica/teoria/A_Franco/unidades/medidas/medidas.htm)

**Teoría de errores:**

<http://temo.icmuv.uv.es/Pages/msup/Errores2.htm>

**Detección de variabilidad:**

[http://fisica.usac.edu.gt/public/tesis\\_lic/eduardo\\_e/node33.html](http://fisica.usac.edu.gt/public/tesis_lic/eduardo_e/node33.html)

<http://www.astrogea.org/instrumental/patrol.htm>

*Asociación de Variabilistas de España - Asesores Astronómicos Cacereños  
Observatorio Astronómico de Cáceres (España), 25 de Enero de 2004.*

**Francisco A. Violat Bordonau**

[violat@olanet.net](mailto:violat@olanet.net) / [fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es)

**Toni Bennasar Andreu**

Asesores Astronómicos Cacereños