

## VARIABLES EN M13

### CAMPAÑA 2004

#### 1. ASTROS NO VARIABLES

Francisco A. Violat Bordonau  
violat@olanet.net

Este es el primer trabajo, de una serie de 3, en el que presentamos los resultados obtenidos durante la campaña fotométrica de 2004, tanto en el estudio de las variables bien conocidas como en las confirmadas recientemente por Kopacki *et al.* (2003). En esta ocasión analizamos el comportamiento lumínico de 5 astros, clasificados como de brillo constante, que hemos empleado como estrellas de chequeo fotométrico: dos de ellas (L250 y L853) parecen ser variables de baja amplitud ( $<0.10$  magnitudes) cuyos períodos de oscilación son 53.80 y 17.55 días respectivamente.

Tal como ya hemos comentado en artículos anteriores el trabajo fotométrico más reciente sobre variables de M13 es el publicado por Kopacki *et al.* (2003) que presenta no sólo curvas de luz de nuevas variables gigantes rojas (como V41), SX Phe y RR Lyr, sino también de las cefeidas y RR Lyrae bien conocidas; estos resultados los obtuvieron trabajando con un telescopio reflector de 60 cm de abertura equipado con una CCD dotada de filtros V e Ic.

En mayo de 2001 iniciamos un proyecto pionero en España para estudiar, dentro de las posibilidades de los aficionados y sus equipos, las estrellas variables de M13. De este modo una vez elaborado los mapas digitales del cúmulo (para localizar las estrellas de calibración fotométrica y los astros variables o sospechosos de variabilidad) nos pusimos a trabajar en serio.

Como resultado hemos seguido el cúmulo ininterrumpidamente (excepto durante los períodos de invisibilidad debido a su proximidad al sol o a su posición desfavorable desde el observatorio de Cáceres) en el período 2001-2004, lo que nos permite contar en estos momentos con la que seguramente es la fotometría más amplia del cúmulo, tanto por su duración (4 años seguidos) como por la distribución temporal, ya que hemos podido trabajar de 5 a 7 meses en cada campaña.

La del presente año 2004 se inició a principios de junio (Día Juliano Modificado 53169) y ha terminado, por imperativo de la climatología local, a mediados de noviembre (DJM 53310): se han capturado imágenes útiles durante 63 noches distintas dentro de un período de 142 días en total. Como en otros años se han rechazado algunas imágenes por su baja calidad fotométrica debido a incendios, calimas, cirros o mal *seeing*.

Todo el trabajo se ha realizado con un telescopio catadióptrico MEADE de 203 mm de abertura y 2 metros de focal, motorizado en A. R., al cual

como en campañas anteriores se le ha acoplado una cámara CCD de la marca *Starlight Xpress* modelo MX516 -con electrónica de 16 bits- y filtro fotométrico V Johnson. El tratamiento de las imágenes ha sido el habitual: resta de campos oscuros promedios y división entre campos planos promedios (de 5 a 7 *flats* distintos), con lo cual se han obtenido buenos resultados; para la calibración de las imágenes se ha utilizado con provecho el programa **AstroArt**, empleando en esta tarea de calibración 8 estrellas no variables de magnitud bien medida (Osborn, 2000). A continuación presentamos un listado de dichas estrellas incluyendo su denominación (L de Ludendorff), la magnitud V Johnson y el índice de color B-V:

Nombre	magnitud	B-V
L169	12.81	1.17
L199	12.21	1.35
L201	13.18	1.07
L222	13.15	-0.18
L261	12.20	1.39
L268	13.50	1.01
L353	12.83	1.16
L848	13.15	1.07

Nuestro estudio se ha extendido a todas las variables bien conocidas, a algunas de las nuevas variables de Kopacki y equipo (de tipo RR Lyrae y gigante roja) así como a 5 estrellas de brillo supuestamente no variable, las cuales nos han servido tanto para comprobar su no variabilidad como astros de chequeo fotométrico con los cuales estimar el error cometido al medir; en total se han seguido 26 estrellas distintas siendo éstas:

L240	L526	L853
L250 (S8)	L296 (S9)	V1
V2	V8	V11
V15	V17	V18
V19	V20	V24
V31	V32	V33
V34	V36	V38
V39	V40	V41
V42	V43	

El desglose según su tipología es el siguiente:

**Astros no variables:** L240, L526, L853, S8 y S9

**RR Lyraes:** V8, V31, V34 y V36

**Cefeidas:** V1, V2 y V32 (dudosa)

**Gigantes rojas:** las restantes.

Dado el enorme volumen de datos obtenidos (aproximadamente 5.000 mediciones de brillo, a un promedio de 4-5 imágenes medidas por sesión de trabajo) en este primer trabajo sólo analizaremos las estrellas catalogadas como no variables, dejando las que realmente son variables de largo período y variables rápidas (de los tipos RR Lyrae y Cefeidas) para futuros artículos.

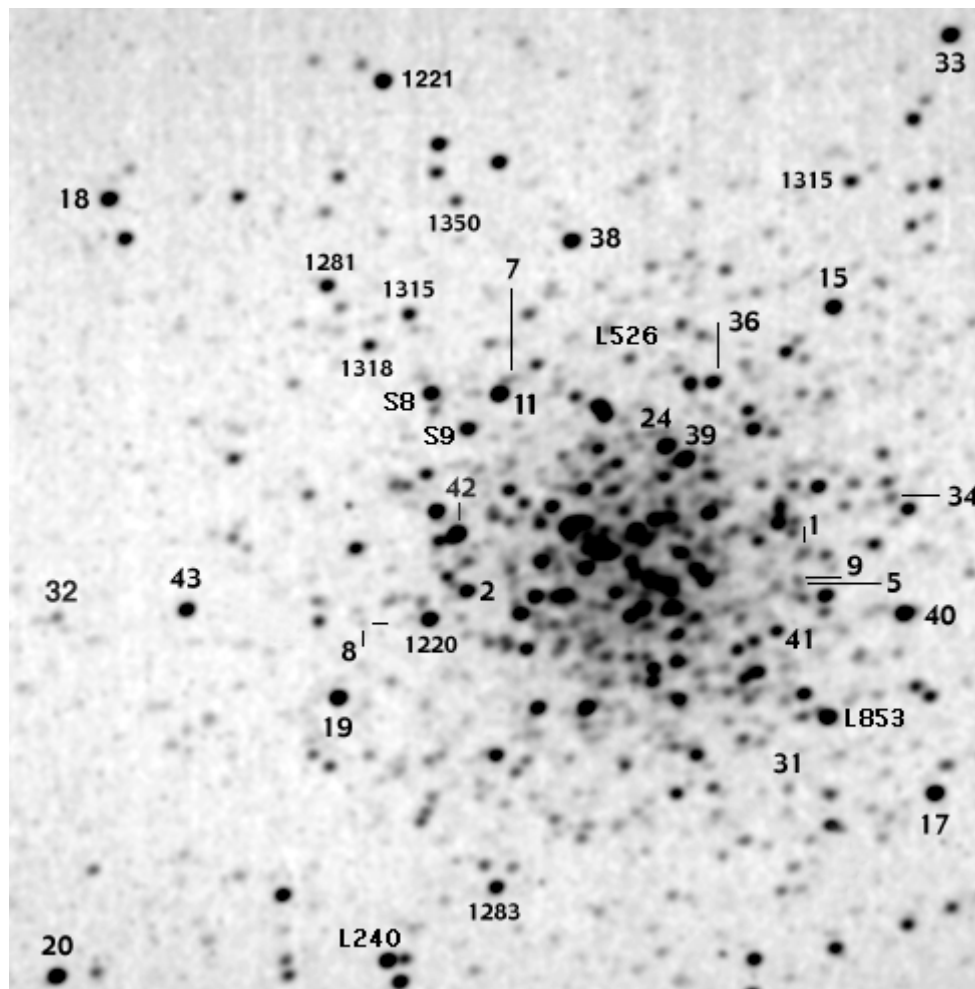


Figura 1. Mapa digital de M13: aparecen marcados los 8 astros de comparación (magnitudes con dos decimales), todas las variables clásicas (nominadas con sus números) y las sospechosas de variabilidad S8, S9, L240, L526 y L853.

### ASTROS NO VARIABLES

Hemos estudiado 5 astros clasificados como no variables, aunque algunos de ellos han sido sospechosos de variabilidad, con un doble propósito:

a) en caso de no ser variables los usaríamos como estrellas de *chequeo fotométrico*: nos servirían para conocer cuál ha sido el error promedio cometido al medir y la amplitud ficticia que se aprecia en la curva de luz de estos astros

b) en caso de ser realmente variables determinar su amplitud, período y curvas de luz basadas en nuestras mediciones.

Los astros estudiados han sido las presuntas variables **L240** y **L526** así como tres estrellas brillantes elegidas por nosotros: **L853**, **L250** (S8) y **L296** (S9). Como en campañas anteriores la denominación **S** es la inicial de *suspected* (sospechosa en inglés), según nuestra nomenclatura particular que iniciamos en la campaña de 2001 y hemos mantenido, o ampliado hasta 9 candidatas, en estos años. Todos son astros que pertenecen al cúmulo por su movimiento propio, según los resultados obtenidos por Cudworth y Monet (1979).

El número de mediciones por estrella ha sido:

Astro	medidas
L240	187
L250	193
L296	191
L526	195
L853	189

Ninguna de ellas parece mostrar una variabilidad real, aunque al analizar estas mediciones con el programa **A.V.E.** (Análisis de Variabilidad Estelar) elaborado por miembros del **G.E.A.** (Grupo de Estudios Astronómicos) sí se han detectado muy leves oscilaciones de brillo que, en dos casos distintos, parecen ser periódicas; todas las mediciones de brillo se refieren a la banda V Johnson. Los resultados y comentarios de cada una de ellas, presentadas en el orden impuesto según su denominación de Ludendorff, son los siguientes:

**L240**: es un astro de magnitud  $12.34^a$  con índice de color B-V igual a 1.37 (Cudworth y Monet, 1979) y B-V igual a 1.36 (Osborn, 2000) localizado en la parte norte del cúmulo, formando un triángulo isósceles con dos estrellas de brillo menor. Aparece como sospechosa de variabilidad en el trabajo de Russeva y Russev (1980) pero Osborn (2000) la encuentra constante en brillo, y así nos lo hizo saber en comunicación privada por e-mail indicándonos que no merecía la pena perder el tiempo con ella. Nosotros, con 187 mediciones, la hemos observado en el rango  $12.186$ - $12.510^a$  obteniendo una magnitud media igual a  $12.348^a$ : sólo 0.008 magnitudes por encima del valor estándar. Con estos datos obtenemos una amplitud de 0.324 magnitudes: en realidad esta *amplitud ficticia* se debe a que está muy próxima a un astro de brillo algo menor (L258, de la  $13.53^a$  magnitud y también sospechosa de variabilidad para Barnard, 1914), lo que ha dificultado o contaminado las mediciones cuando la turbulencia ha degradado las imágenes y dispersado la luz de ambas estrellas; debido a esto desestimamos la posibilidad de seguir a L258 con nuestro equipamiento. Un estudio de las mediciones en busca de variabilidad no proporciona período alguno: tal como ya nos comentó en su día el Dr. Osborn es un astro de brillo constante.

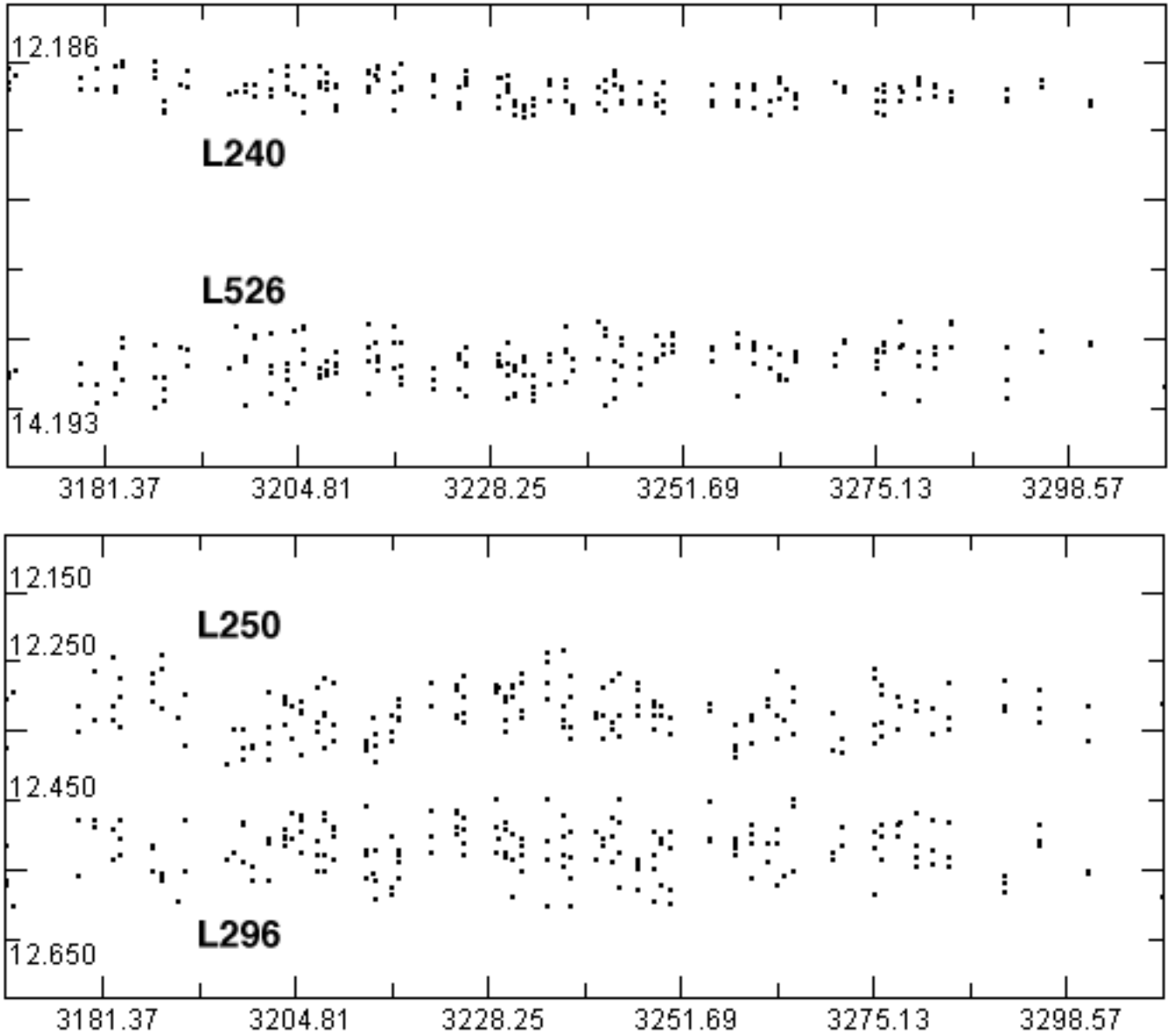
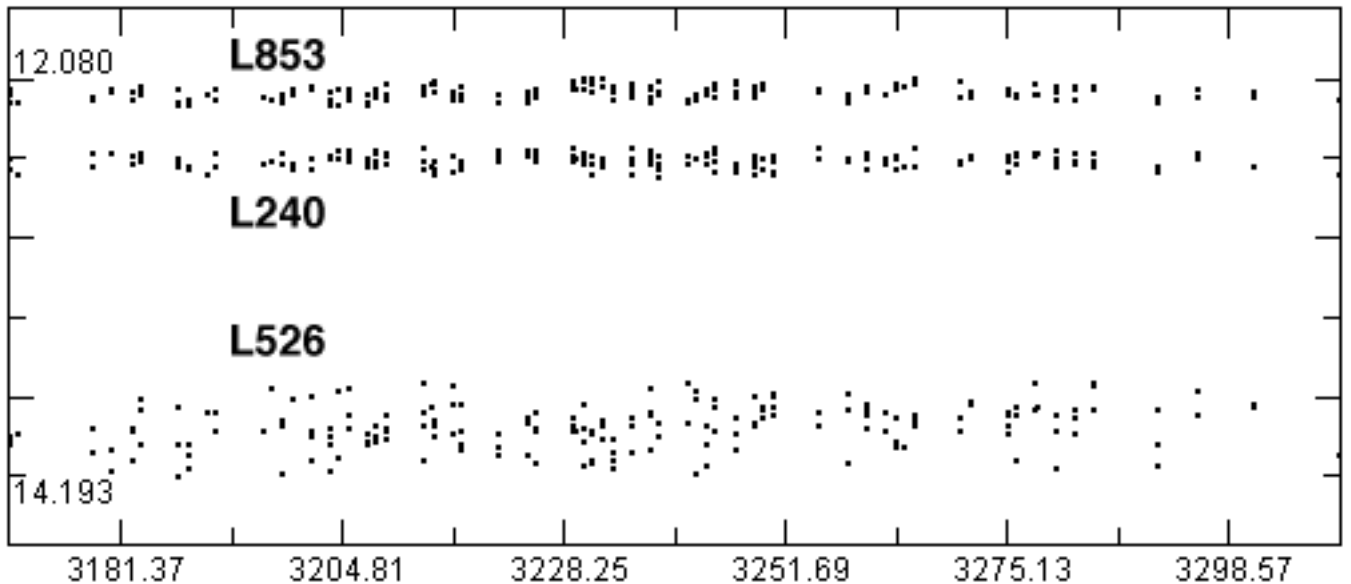


Figura 2. Curvas de luz de las estrellas L240 y L526 (arriba) y L250 y L296 (centro): puede comprobarse la mayor dispersión en las mediciones de L526, fenómeno que ha sido causado por su debilidad; ninguna de las cuatro parece ser una variable de gran amplitud, pero sí pueden presentar oscilaciones similares a la precisión de nuestras mediciones ( $\pm 0.075$  magnitudes). Abajo comparamos las curvas de luz de L853 y L240 con la de L526, más *gruesa* por la dispersión de las mediciones.



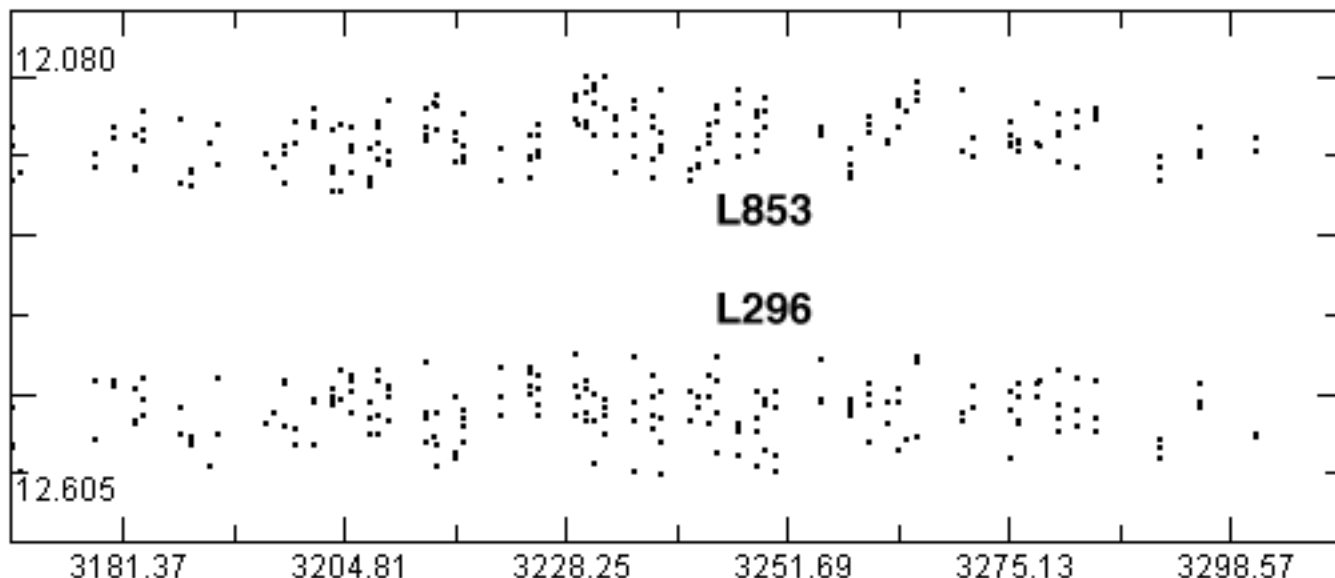


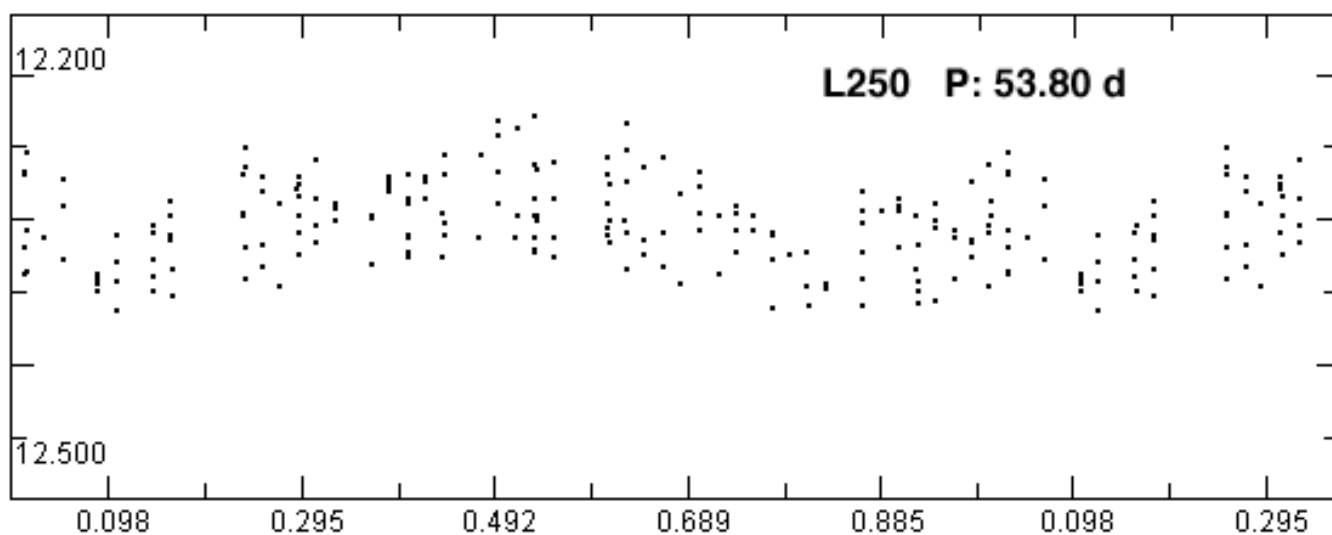
Figura 3. Curvas de luz de las estrellas L853 y L296 a lo largo de la campaña de observación: ambas presentan dispersiones reducidas (0.155 y 0.156 magnitudes respectivamente), pero sólo la primera parece oscilar de brillo con cierta periodicidad.

**L250 (S8):** es también otra estrella gigante roja amarillenta de magnitud  $12.37^a$  e índice de color B-V igual a 1.35 (Cudworth y Monet) y  $12.39^a$  y 1.31 (Osborn), situada en el vértice occidental de un triángulo de estrellas muy evidente, la más oriental de las cuales es la brillante variable V11. La hemos medido en el rango  $12.236$ - $12.401^a$  (magnitud media  $12.318^a$ : 0.05 magnitudes más brillante que su valor estándar) lo que nos da una amplitud de sólo 0.165 magnitudes, incluyendo el error aleatorio originado en el proceso de la medición: su proximidad a otras estrellas de menor brillo —una de ellas situada al NE y muy pegada— quizá debería haber producido una dispersión mayor, pero hemos comprobado que no ha sido el caso. El análisis de nuestras 193 mediciones proporciona un período de 53.8 días, no muy diferente al de las variables gigantes rojas del cúmulo (entre 40 y 90 días): empleando este valor se ob-

tiene una curva de brillo medianamente buena (figura 4) que debemos tomar con precaución dado el corto período observado.

**L296 (S9):** como en el caso anterior es también un astro amarillento del tipo *gigante roja*, de magnitud  $12.56^a$  e índice de color B-V 1.30 según Cudworth y Monet (no fue medida por Osborn). Situada no lejos de la anterior, y próxima a la brillante V11 (magnitud media:  $11.95^a$ ), es la estrella que forma el vértice más boreal del triángulo en el cual tenemos a S8 y V11. Con 191 mediciones la hemos encontrado en el rango  $12.449$ - $12.605^a$  (magnitud media  $12.527^a$ : 0.03 magnitudes más brillante que el valor estándar) lo que nos proporciona una amplitud muy reducida: apenas 0.156 magnitudes incluyendo el error aleatorio. El análisis fotométrico de estas medidas proporciona dos períodos diferentes (19.3 y 24.7 días), ambos de-

Figura 4. Curva de luz de la estrella L250 empleando un período de 53.80 días: la amplitud máxima registrada —incluyendo el inevitable error aleatorio— ha sido de sólo 0.165 magnitudes; compárese con la curva de la figura 2, centro.



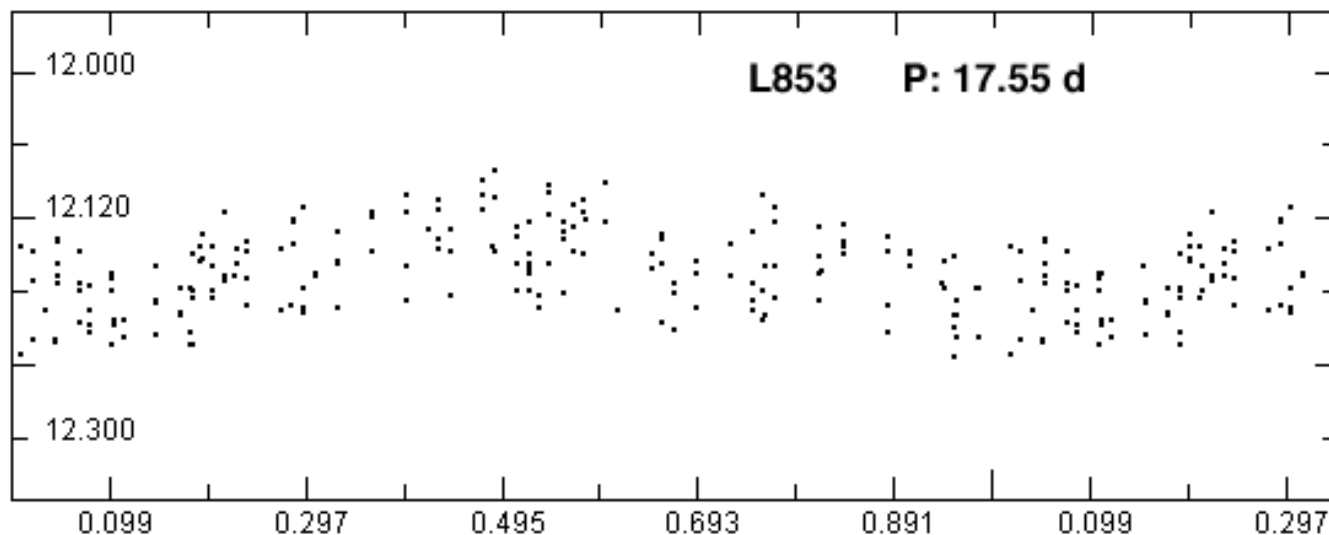


Figura 5. Curva de luz de la estrella L853 obtenida empleando un período de 17.55 días: las oscilaciones lumínicas medidas son de sólo  $\pm 0.077$  magnitudes con respecto a su brillo medio (magnitud 12.160<sup>a</sup>).

masiado cortos como para deberse a oscilaciones radiales de la estrella y ninguno de los cuales produce buenas curvas de luz: por todo ello debemos considerarla como un astro no variable.

**L526:** es un astro blanco-amarillo de magnitud 13.82<sup>a</sup> e índice de color B-V igual a 0.39 (Cudworth y Monet), lo que la convierte en candidato ideal para ser variable de tipo *cefeida* tanto por su magnitud como por su color, ya que en el diagrama Color-Magnitud está situada cerca de la banda de inestabilidad (es también una estrella bastante brillante en banda UV); sin embargo Cudworth y Monet comentaban en este trabajo que no apreciaban variabilidad alguna, aunque sería deseable disponer de fotometría de la misma. Russeva *et al.* (1982) no detectaron oscilación alguna mientras que Osborn (2000) no la incluyó en su trabajo fotométrico, de modo que no tenemos datos demasiado recientes. La hemos medido en el rango 13.698-14.193<sup>a</sup> (magnitud media 13.945<sup>a</sup>: 0.13 magnitudes más débil que el valor estándar) lo que nos da una amplitud de 0.495 magnitudes; en este caso este valor tan alto y la diferencia con la magnitud oficial se debe a su propia debilidad, ya que al trabajar con filtro fotométrico la relación señal/ruido es moderadamente baja para los astros débiles y esto origina una mayor dispersión en las mediciones de brillo. El análisis de 195 fotografías propias arroja un período en torno a 11 días que no produce curva de luz alguna: a la vista de estos resultados negativos hemos de considerarla también de brillo constante.

**L853:** se trata de una brillante estrella de tipo *gigante roja* de color amarillo-anaranjado, magnitud 12.20<sup>a</sup> e índice de color B-V igual a 1.48 (Cudworth y Monet), y 12.25<sup>a</sup> y 1.39 (Osborn), situada en la parte oriental del cúmulo. Fue estudiada sistemáticamente por nosotros en la campaña del año 2003 (véase nuestro trabajo *Astros no va-*

*riables en M13*, diciembre de 2003), encontrándola en el rango 12.111-12.227<sup>a</sup> (magnitud media 12.169<sup>a</sup>) con una amplitud de sólo 0.115 magnitudes; nuestras 189 mediciones actuales la han registrado en el intervalo 12.085-12.235<sup>a</sup> (magnitud media 12.160<sup>a</sup>: 0.009 magnitudes más brillante que en la pasada campaña pero 0.09 magnitudes más brillante que su valor estándar) con una amplitud de 0.155 magnitudes: 0.020 magnitudes mayor que el valor de la pasada campaña. Estas diferencias tan notorias entre unos valores y otros se originan porque tiene justo a su lado occidental una estrellita de menor brillo que, en noches de elevada turbulencia, se emborrona y difumina levemente contaminando el brillo de la estrella que medimos. La búsqueda de un posible período de oscilación con el software AVE proporciona dos valores muy diferentes: 17.55 y 132 días; probando con ambos comprobamos que sólo el primero origina una curva de luz bastante coherente (figura 5), con subidas y bajadas armónicas, que bien pudiera ser un simple artefacto matemático aunque no descartamos otras hipótesis como la presencia de manchas, oscilaciones de tamaño no radiales o incluso que estemos ante un sistema binario de período corto. Necesitamos abundantes mediciones de calidad en una futura campaña para dilucidar la cuestión: con ellas podremos descartar algunas hipótesis o todas ellas.

## VELOCIDADES RADIALES

Un modo de comprobar la posible variabilidad de una estrella es medir su *velocidad radial* por medio de espectrogramas: afortunadamente en el pasado se han realizado diferentes estudios de este tipo, de modo que podemos consultar esta bibliografía para compararla con nuestros resulta-

dos y ver si hay alguna coincidencia. El trabajo de Lupton *et al.* (1978) incluye mediciones para 147 estrellas distintas, cuatro de ellas (L240, L250, L269 y L853) seguidas por nosotros. En la tabla siguiente insertamos los valores de las mismas así como los obtenidos para algunas variables a efectos de comparación; se incluye el nombre, la velocidad radial *vrad.* con respecto a la velocidad del cúmulo (-247 km/s), la velocidad radial media *vmed.* y la probabilidad  $\chi^2$  de ser variable en función del rango de *vrad.*:

nombre	<i>vrad.</i>	<i>vmed.</i>	$\chi^2$
L240	9.14 a 11.73	10.69	10.89
L250	-2.03 a -5.50	-4.21	16.03
L269	0.75 a 1.17	1.36	---
L853	-1.78 a -3.19	-2.30	1.73
V11	0.89 a 3.41	2.54	12.85
V15	-10.87 a -15.55	-12.64	37.07
V17	1.90 a -6.62	-2.29	85.43
V18	0.23 a 5.92	3.61	40.74
V20	4.85 a 9.96	6.22	19.53
V24	-8.30 a -13.82	-11.00	88.97
V33	-3.98 a -8.59	-6.09	29.59
V38	3.79 a 9.63	6.55	110.52
V39	11.02 a 14.63	12.59	26.81
V41	2.79 a -18.92	-10.77	226.00

con estos números en la mano vemos que las estrellas que tienen más probabilidades de ser variables en función de  $\chi^2$  son **L240** y **L250**, pero nunca L853 por presentar el valor más reducido de todos (de L269 no hay mediciones suficientes como para obtener resultados fiables).

Sin embargo Shetrone (1990) obtuvo también velocidades radiales de ciertas estrellas llegando a incluir a L853 entre ellas: según este investigador la velocidad de la estrella no varió absolutamente nada en dos noches consecutivas (este valor fue igual a -248.6 km/s), mientras que la velocidad de la parte central de la línea del sodio resultó ser exactamente 0 km/s; ambos datos son desfavorables a la hipótesis de variabilidad.

Finalmente el trabajo de Welty (1985) sobre búsqueda de variabilidad trabajando en banda B (con filtro azul) es negativo para L240 y L250, ya que ambos fueron analizados por él y dentro de la precisión de su equipo (hasta 0.2 magnitudes) no presentan oscilaciones lumínicas, aunque sus desviaciones estándar  $\sigma$  son iguales a 0.070 y 0.117 magnitudes respectivamente: este último valor es prácticamente idéntico al encontrado en la variable V19 (0.111) y un poco menos que doble del medido en las variables V17, V20, V18 y V38 (0.082, 0.084, 0.088 y 0.073 magnitudes respectivamente). Esto quiere decir que L250 puede ser perfectamente una variable cuyas oscilaciones en banda B son inferiores a 0.2 magnitudes: nosotros medimos una amplitud de 0.165 magnitudes en banda V -incluyendo el error aleatorio-, lo que puede corresponder a una amplitud real de 0.08 a 0.10 magnitudes como máximo.

## CONCLUSIONES

**El análisis de las mediciones efectuadas durante 63 noches a lo largo de un período de 142 días (DJM 53169 al DJM 53310), demuestra que las estrellas L240, L296 (S9) y L526 no presentan oscilaciones de brillo dentro de la precisión de nuestros equipos, fuera de la típica dispersión producida por el error aleatorio ( $\pm 0.06$  a  $\pm 0.08$  magnitudes); por el contrario las estrellas L250 (S8) y L853 presentan dispersiones también reducidas (0.165 y 0.155 magnitudes respectivamente) pero los análisis de sus mediciones (191 y 189 respectivamente) proporcionan períodos que, una vez utilizados, originan curvas de luz bastante consistentes: 53.80 días en el primer caso y 17.55 días en el segundo; ambas parecen ser variables de baja amplitud ( $< 0.10$  magnitudes). Por otro lado las mediciones de velocidad radial apuntan a la posible variabilidad de L250 pero no de L853. La falta de mediciones de L250 en la campaña de 2003 nos impide comparar estos datos y mejorar (o descartar) este período; de L853 sí disponemos de datos de 2003 pero los mismos -al ser bastante menos abundantes y de menor calidad- no permiten obtener ninguna conclusión clara: necesitamos nuevas observaciones en la campaña del año 2005 para confirmar o desmentir estos resultados que sólo podemos considerar provisionales y tratar con precaución.**

Observatorio Astronómico de Cáceres, 19 de noviembre de 2004.

## REFERENCIAS

- Barnard, E. E.: 1914, ApJ 40, 173  
 Cudworth, K. M., Monet, D. G.: 1979, AJ 84, 774  
 Kopacki, G., Kolaczowski, Z., Pigulski, A.: 2003, A&A 398, 541  
 Ludendorff, H.: 1905, Public. Astron. Observ. Postdam, vol 15, No. 50  
 Lupton, R. H., Gunn, J. E., Griffin, R. F.: 1978, AJ 93, 1114  
 Osborn, W.: 2000, AJ 119, 2902  
 Russeva, T., Russev, R.: 1980, IBVS 1769  
 Russeva, T., Iliev, L., Russev, R.: 1982, IBVS 2223  
 Shetrone, M. D.: 1994, PASP 106, 161  
 Violat Bordonau, F. A., Bannasar Andreu, T.: *Astros no variables en M13* (Web Casanchi), diciembre de 2003  
<http://personales.ya.com/casanchi/ast/varm1301.htm>  
 Welty, D. E.: 1985, AJ 90, 2555