

8

Colorimetría en fotometría de asteroides

Josep M^a Coloma, Ramón Costa, Enric Forné, Hilari Pallarés
(Agrupación Astronómica de Sabadell)

Resumen / Abstract

Objetivo: Evaluar la viabilidad del uso de técnicas fotométricas con filtros B y V para detectar posibles fluctuaciones en los valores de índice de color en asteroides. Estas variaciones podrían ser causadas por diferencias en sus compuestos superficiales.

Método: Observaciones consecutivas y alternadas con cámara CCD y filtros fotométricos estándar B y V durante varias horas cada noche, a fin de abarcar amplias áreas de sus superficies en función de sus periodos de rotación.

Resultados: Se observan los asteroides simples 28 Bellona y 29 Amphitrite, sin considerables fluctuaciones en el índice de color dentro de los sectores registrados de sus superficies (entre el 15% y el 20%). Los valores B-V son los esperados. También se realizan cuatro observaciones del asteroide binario 22 Kalliope coincidiendo con los momentos en los que las efemérides preveían eclipses y ocultaciones mutuas. Se aprecia fluctuación en uno de ellos.

Conclusiones: La técnica es perfectamente aplicable y es posible detectar variaciones en los índices de color de asteroides.

***Aim:** To evaluate the viability of the use of photometric techniques with the B and V filters to detect possible fluctuations in the colour index of asteroids, which could be caused by differences in their surface compositions.*

***Method:** Consecutive observations with CCD and the B and V filters*

during several hours every night in order to cover a large area of their surfaces depending on their rotation period.

Results: *We observed the single asteroids 28 Bellona and 29 Amphitrite, without detecting considerable fluctuations in their colour index in the surface regions studied (15-20% approximately). We obtained the expected B-V values. The binary asteroid 22 Kalliope was also observed on four occasions when the ephemerides predicted an eclipse or mutual occultation. We noted fluctuations in one of these events.*

Conclusions: *The technique used in this study is suitable and feasible to detect variations in the colour indexes of asteroids.*

Introducción

El índice de color B-V utilizado en fotometría es el resultado de restar a la magnitud obtenida en banda B (filtro azul), la obtenida en banda V (filtro verde). El valor resultante indica el color propio de los astros: será cero si el astro es blanco, negativo si es azulado o positivo si es amarillo, anaranjado o rojizo. El índice de color del Sol es aproximadamente +0,63. En el caso de observación directa de estrellas, aplicando esta técnica es posible precisar su temperatura superficial. Si la observación fotométrica se realiza sobre asteroides y se calcula el índice de color de la luz solar reflejada en ellos, las alteraciones en los valores B-V proporcionan información geológica acerca del tipo de materiales que los componen.

El índice de color de cada asteroide, su albedo y sus datos espectroscópicos permiten efectuar clasificaciones taxonómicas como la realizada por Tholen en 1984, asignando una letra a cada tipo (tabla 1). De forma aproximada, el 75% de los asteroides se sitúa en el tipo C, con valores B-V entre 0,65-0,75, compuestos por silicatos carbonatados. Otro 15% pertenecen al tipo S, con valores B-V comprendidos entre 0,75-0,85, compuestos principalmente por silicatos ricos en hierro. El resto de asteroides está repartido entre otras muchas clases taxonómicas, pero el índice de color no es capaz de diferenciarlos. Se necesita análisis espectral y/o radar.

Cuando se calculan los valores de índice de color de los asteroides suele hacerse mediante observaciones fotométricas en B y V puntuales,

Tabla 1. Clasificación de Tholen

| Albedo | Espectro • Porcentaje sobre el total • B-V |
|-------------------------------|--|
| T Muy bajo (0,042) | Similar a la clase D. |
| P Bajo (0,05) | Similar a la clase M, pseudo M o P. |
| D Bajo (0,05) | Muy rojo hacia 700 nm. |
| F Bajo (0,065) | Llano. |
| B Bajo (0,065) | Similar a la clase C. |
| G Bajo (0,065) | Similar a la clase C. |
| C Bajo (0,065) | Neutro, ligera absorción hacia el azul a partir de 400 nm • 75% • 0,65-0,75. |
| S Moderado (0,09-0,24) | Enrojecido, banda de absorción entre 900-1.000 nm • 15% • 0,80-0,85. |
| M Moderado (0,07-0,21) | Sin rasgos distintivos, inclinación hacia el rojo. |
| A Moderado (0,12) | Sube escalonado hasta 700 nm y entonces baja. |
| Q Alto (0,21) | Idéntico a las condritas ordinarias. |
| V Alto (0,25) | Vesta; fuerte banda de absorción en 950 nm. |
| R Alto (0,25) | Muy rojo, bandas más profundas que en el tipo S. |
| E Muy alto (0,33) | Sin rasgos distintivos, plana o inclinada hacia el rojo. |

es decir, obteniendo valores sólo en ciertas zonas de sus superficies. La literatura indica frecuentemente diferentes valores de índice de color para un mismo asteroide según el autor, provocado posiblemente por errores de catálogo en las magnitudes de las estrellas de referencia utilizadas y también por realizarse el cálculo utilizando la luz reflejada en diferentes zonas superficiales. Estudios como el que aquí se presenta, independientemente de que los valores se sitúen en rangos diferentes al de otros autores al utilizarse distintas estrellas de referencia, sirven para calcular la fluctuación del índice durante una rotación completa o un sector de ésta. En el caso de asteroides binarios, las posibles oscilaciones del valor B-V durante los eclipses mutuos de ambos componentes indicarían composiciones superficiales diferentes y una buena referencia inicial para conocer la naturaleza del origen del sistema.

Tabla 2. Observaciones efectuadas

| Asteroide | Fecha de observación | Imágenes B | Imágenes V |
|---------------|----------------------|------------|------------|
| 28 Bellona | 11/06/2007 | 72 | 71 |
| 29 Amphitrite | 26/11/2007 | 117 | 124 |
| 22 Kalliope | 5/10/2007 | 178 | 178 |
| 22 Kalliope | 9/10/2007 | 108 | 108 |
| 22 Kalliope | 12/10/2007 | 293 | 292 |
| 22 Kalliope | 20/10/2007 | 232 | 234 |

Observaciones

Las observaciones realizadas son las mostradas en la tabla 2. Se utilizó el telescopio de 0,50 m de diámetro de la Agrupación Astronómica de Sabadell en su configuración Newton ($f/4,0$), situando en su foco primario una cámara CCD de la marca FLI, modelo CM9 de 512 x 512 píxeles de 20 micras. Los filtros utilizados fueron los B y V de Bessel, estándar en fotometría. El método consiste en tomar imágenes consecutivas y alternadas con ambos filtros. Todas son de 60 segundos de exposición.

Análisis

Una vez se dispone de las series de imágenes en formato FIT realizadas con filtro B y filtro V, ambas son corregidas de corriente de oscuridad (*dark frame*) y aplanamiento de campo (*flat field*) por el método habitual de promedios en series de imágenes de ambos tipos. Para ello se utiliza el programa informático Astroart.

Posteriormente se realiza la fotometría diferencial a cada una de las dos series de imágenes utilizando el programa informático Iris y obteniendo así las curvas fotométricas en ambas bandas del espectro. Para el ajuste de magnitud instrumental a magnitud real se verifican los valores indicados para las estrellas de referencia en la mayor cantidad posible de diferentes catálogos estelares, accediendo a ellos a través de la web de Vizier. Debe tenerse en cuenta que como los asteroides poseen un movimiento propio importante, las estrellas que se utilizan de referencia cambian de una sesión a otra. La regla utilizada para definir el valor que se usará como magnitud de referencia consiste en calcular el valor de magnitud real promedio de

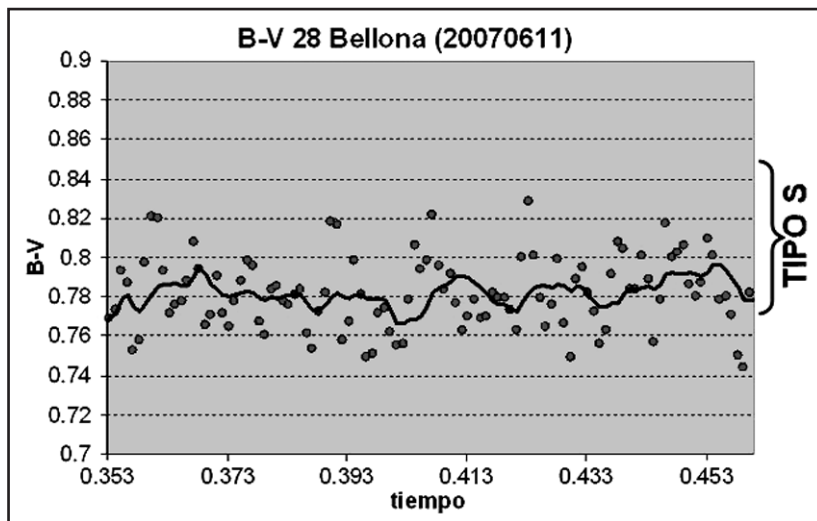


Figura 1.

los catálogos disponibles para cada estrella en cada banda, sin contemplar aquellos que se alejan del promedio más de tres veces el valor de la desviación estándar.

Una vez obtenidas las dos curvas fotométricas, no es posible realizar de forma directa la sustracción de cada valor V a cada valor B puesto que las imágenes se registraron de forma alternativa y los momentos centrales de cada exposición, indicados en día juliano (DJ) sin corrección heliocéntrica, no son iguales en ambas series. El siguiente paso consiste en diseñar dos gráficas teóricas a partir de los datos obtenidos, utilizando algoritmos de interpolación. Para ello usamos el programa informático CurveExpert 1.3 que utiliza la interpolación por esplines cúbicos y la realización de tablas para obtener valores teóricos simultáneos en ambas bandas (el mismo DJ), para, finalmente, realizar la sustracción B-V de cada par. Las líneas negras mostradas en cada curva de índice de color indican la media móvil de periodo 10.

28 Bellona

Este asteroide de tipo S, con un periodo rotacional aproximado de 15,7 horas, fue observado en la noche del 11 de junio de 2007 durante 2,5 horas, es decir, registrándose el 16% de una rotación. La curva de

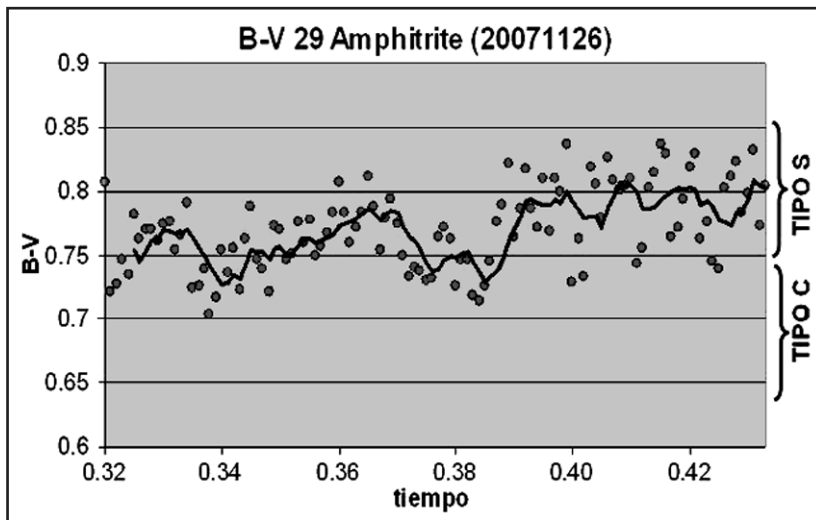


Figura 2.

índice de color obtenida se muestra en la figura 1.

El valor B-V promedio se calculó en 0,782, lo cual lo ubica dentro de los valores esperados para un asteroide de esta clasificación taxonómica. La desviación estándar calculada fue de 0,018, indicando la ausencia de fluctuaciones destacables en el índice de color.

29 Amphitrite

Este asteroide también pertenece al tipo S y su periodo aproximado de rotación es de 5,39 horas. Fue observado la noche del 26 de noviembre del 2007, abarcándose el 17% de su periodo de rotación. La curva fotométrica obtenida se muestra en la figura 2. El valor B-V promedio obtenido fue de 0,771 situándose dentro de su grupo taxonómico. Muestra irregularidades más destacables que 28 Bellona, descendiendo la media móvil en tres ocasiones hasta valores ubicados dentro de los rangos de la clase taxonómica C. El valor de la desviación estándar de la serie se sitúa en 0,032.

22 Kalliope

Este sistema doble, clasificado taxonómicamente como tipo M y con un periodo de 4,148 horas, fue seleccionado para el presente estudio al

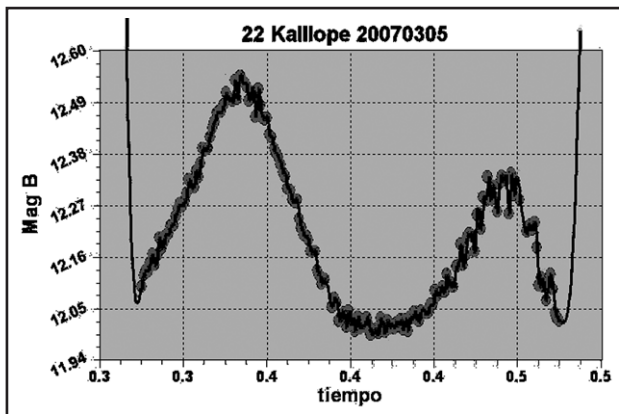


Figura 3.

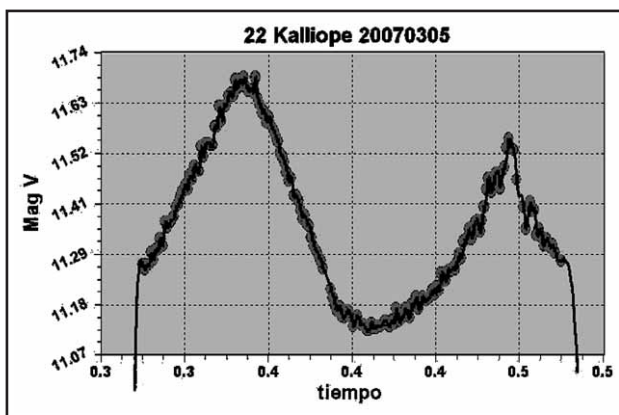


Figura 4.

encontrarse el plano orbital de ambos componentes paralelo al plano de la eclíptica durante los primeros meses de 2007. Esto propiciaba la observación de fenómenos de eclipses y ocultaciones mútuas y se disponía de las efemérides previstas para dichos eventos gracias a una campaña lanzada por el Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides de París. Fue observado durante cuatro noches:

5 de marzo de 2007

Las curvas fotométricas B y V obtenidas (invertidas) así como la representación gráfica del índice de color, se muestran en las figuras 3, 4 y 5 respectivamente. Se observó el 80% de su periodo de rotación, apre-

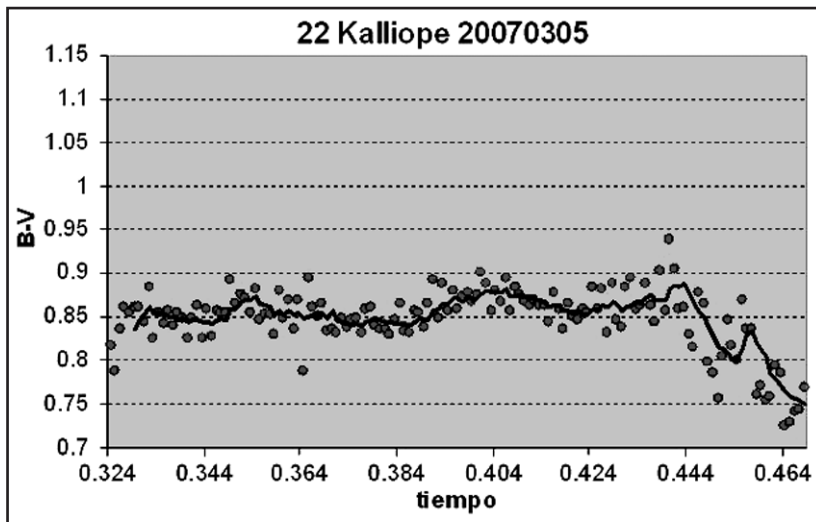


Figura 5.

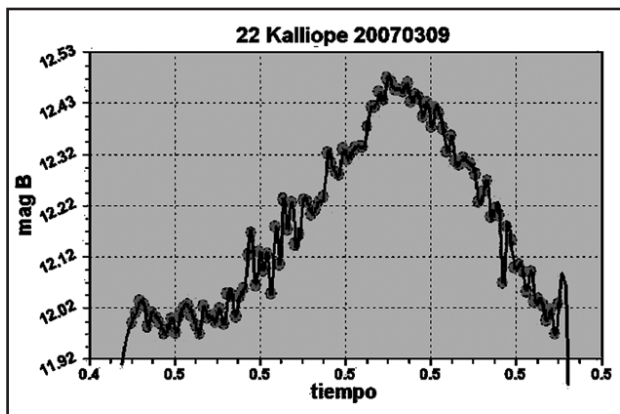


Figura 6.

ciándose una variación B-V de $\pm 0,1$ en la zona del mínimo secundario, que coincide donde parece observarse un eclipse.

9 de marzo de 2007

Las curvas fotométricas B y V obtenidas (invertidas) así como la representación gráfica del índice de color, se muestran en las figuras 6, 7 y 8, respectivamente. Se observó el 45% de su periodo de rotación, coin-

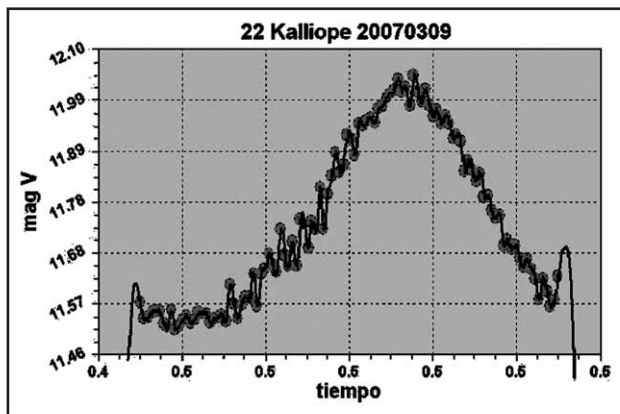


Figura 7.

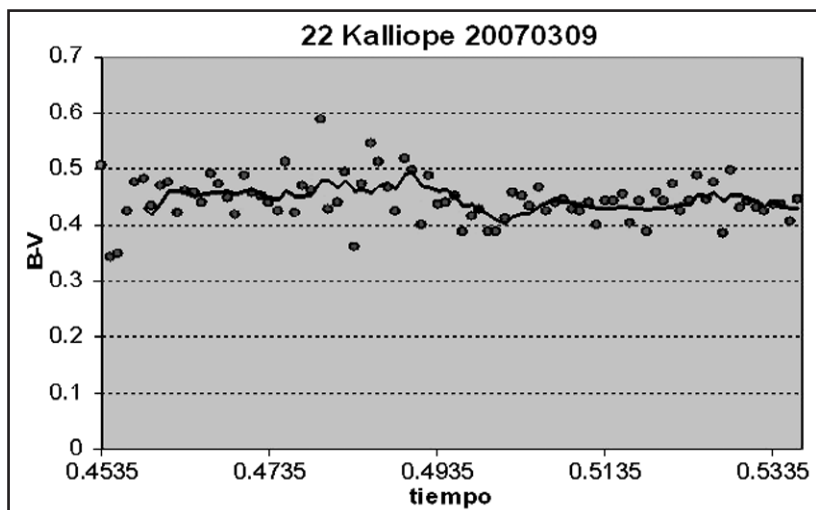


Figura 8.

ciendo en fase con la variación B-V de 5 de marzo. En esta ocasión no se aprecia eclipse ni variación B-V y el índice de color se mantiene constante. El valor B-V es totalmente diferente al obtenido en el resto de observaciones, lo que podría reflejar errores en las magnitudes de los catálogos estelares utilizados.

12 de marzo de 2007

Las curvas fotométricas B y V obtenidas (invertidas) así como la

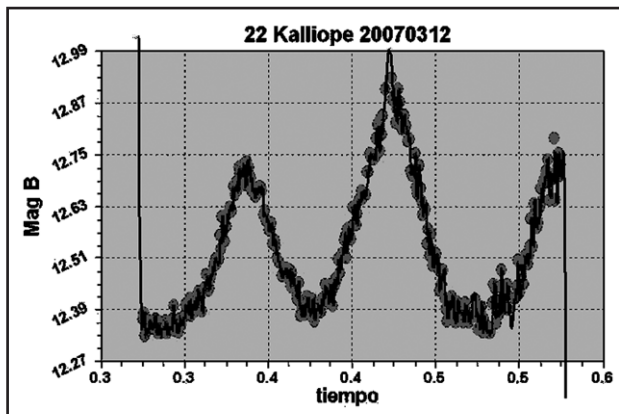


Figura 9.

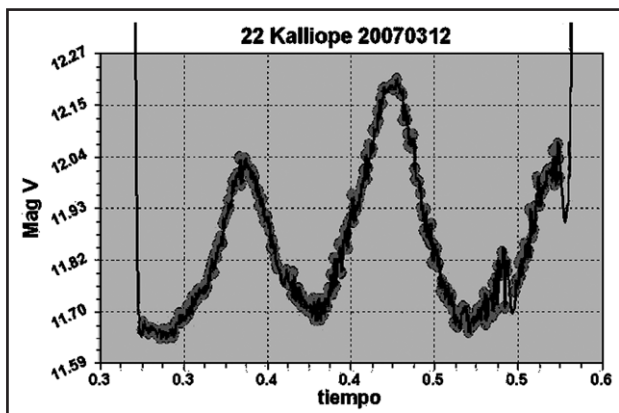


Figura 10.

representación gráfica del índice de color, se muestran en las figuras 9, 10 y 11 respectivamente. Se observó más del 100% de su periodo de rotación sin apreciarse eclipses. El índice de color se mantiene constante, con dispersión en el tramo final por causas atmosféricas.

20 de marzo de 2007

Las curvas fotométricas B y V obtenidas (invertidas) así como la representación gráfica del índice de color, se muestran en las figuras 12, 13 y 14 respectivamente. Se observó el 100% de su periodo de rotación sin apreciarse eclipses. El índice de color se mantiene constante.

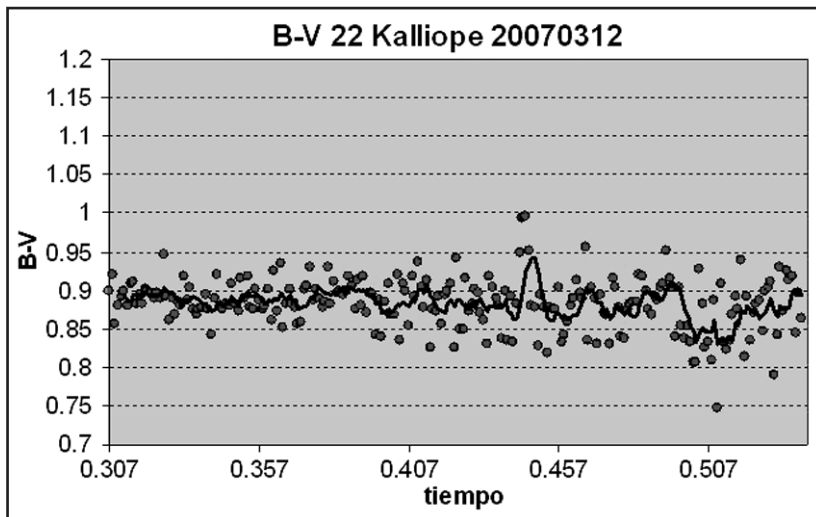


Figura 11.

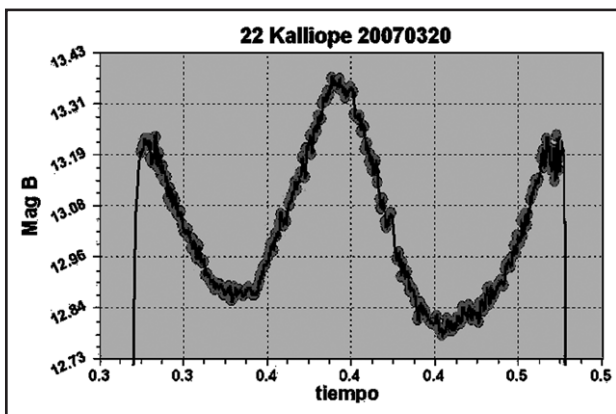


Figura 12.

Conclusiones

La técnica de observación y análisis descrita se ha mostrado válida para verificar o cuestionar la homogeneidad de los asteroides dentro de las clasificaciones taxonómicas en las que se encuentran listados, siempre que se trate de los tipos C y S.

Paralelamente, es posible que también pueda utilizarse para detectar

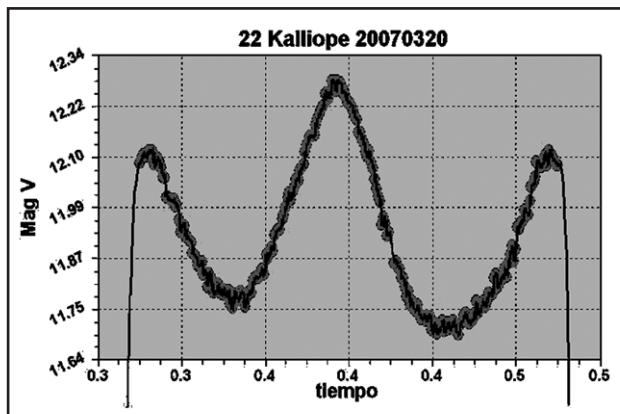


Figura 13.

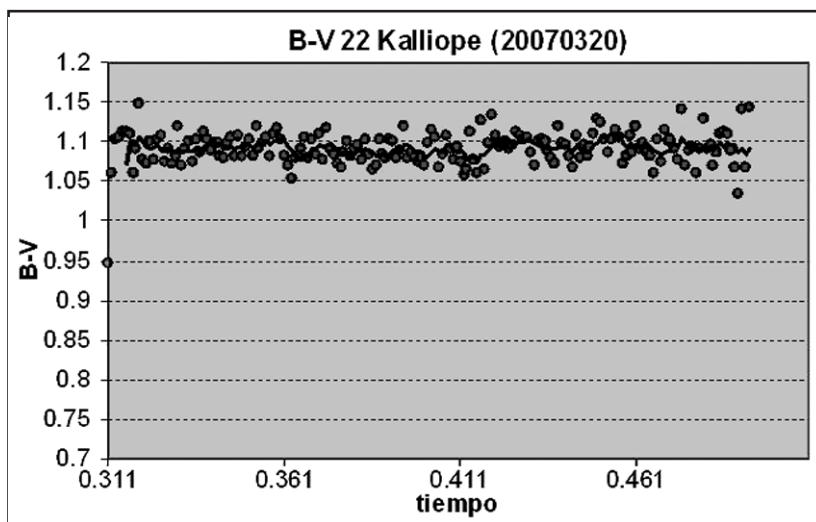


Figura 14.

diferentes composiciones superficiales en los sistemas binarios, pero en función del instrumental utilizado es necesario que la profundidad de los eclipses sea de cierto nivel, superiores al referido en este artículo para el caso de 22 Kalliope.

Las tres inflexiones en la curva de 29 Amphitrite hacia valores B-V situados en la clasificación taxonómica C deberían de ser contrastadas con otras observaciones, a fin de despejar dudas sobre su origen real.

Bibliografía

Asteroid taxonomic classification in asteroids II, *University of Arizona Press*, pp. 1139-1150 (1989)

Courve de Rotation (CdR), <http://obswww.unige.ch>

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Ephémérides, <http://www.imcce.fr>

ViZier, <http://webviz.u-strasbg.fr>