

FOTOMETRÍA CCD

BF AURIGAE

Francisco A. Violat Bordonau

fviolat@yahoo.es

Con la intención de probar el software AIP₄WIN y la nueva montura ecuatorial instalada en el Observatorio Astronómico de Cáceres, he dedicado unos días al estudio fotométrico del sistema binario BF Aurigae: estos son los resultados obtenidos en este sencillo experimento.

La estrella variable BF Aurigae (α : 05h 05m 03.50s δ : +41° 17' 19.1s", 2000.0) es un sistema binario eclipsante de tipo β Lyr situado a poco más de 16' de la también variable Eta Aur (figura 1), que sirve de jalón a partir de la cual situarla y encontrarla sin mayores problemas; en la misma zona aparece la variable roja FL Aur (espectro M3) que no he estudiado en esta ocasión.

En los programas astronómicos y bases de datos (como SIMBAD) aparece con otras varias denominaciones como son: HIP 23657, SAO 40003, GSC 02903-00818 o TYC 2903- 818-1.

Descubierta por Morgenroth (1935), el sistema orbital se encuentra formado por dos estrellas calientes de espectros B5V y B5V (Popper, 1981) que giran en torno al baricentro común en un período de 1.58322519 días: la curva de luz es similar a la de la brillante estrella β Lyr, presentando un mínimo primario de casi idéntica profundidad al mínimo secundario.

Su magnitud media es 8.85 *V* y 8.83 *B* aunque durante los eclipses cae 0.72 magnitudes siendo su rango oficial de la 8.79 a la 9.51: para una cámara CCD dotada de un filtro *V*, como es mi caso, el seguimiento de esta estrella y la obtención de una buena curva de luz no debería ser difícil en absoluto.

Al haber recibido la nueva montura ecuatorial EQ-6 Pro el 14 de febrero quise iniciar su estudio inmediatamente, pero las condiciones atmosféricas me lo impidieron durante bastantes días: al final pude obtener las primeras imágenes en la noche de Día Juliano 53824 finalizando la campaña, cuando la estrella aparecía ya muy próxima al ocaso, la noche del D.J. 53869: en total han sido 46 noches de fotometría aunque no todas ellas han sido apropiadas para trabajar (sólo he podido obtener imágenes válidas en 20 de ellas).

Para trabajar con un mayor campo recurrí al reductor de focal *f*/ 6.3 con el cual la focal del telescopio MEADE de 203 mm quedó igual a 1260 mm: el campo aparente de la cámara CCD utilizada (Starlight Xpress MX516) fue igual a 13.69' x 9.82': así pude capturar en la misma imagen la va-

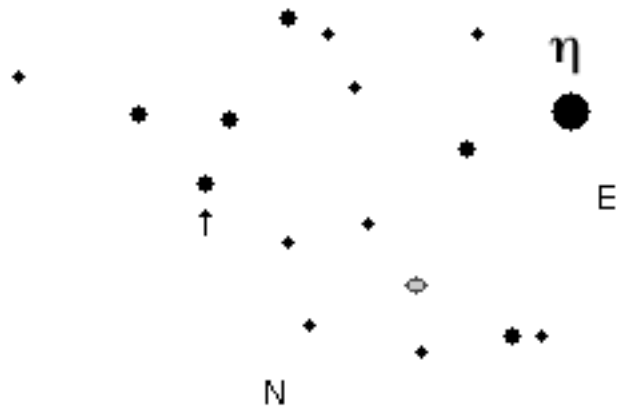


Figura 1. Mapa de la zona en la que podemos localizar la variable BF Aur, no lejos de la brillante estrella η Aur. (Elaborado a partir del mapa descargado de SIMBAD).

riable, una estrella de comparación y otra de chequeo. En esta ocasión el programa fotométrico utilizado ha sido AIP₄WIN, de Richard Berry y James Burnell (editado por Willmann-Bell, Inc.); capaz de realizar fotometría diferencial necesita sólo dos estrellas para efectuar las mediciones: una de ellas, que llamaré C, nos sirve de comparación y un astro de chequeo (que denominaré K) con el cual comprobar la estabilidad fotométrica de la estrella C y el comportamiento de la variable (V). Si notamos oscilaciones de brillo en la variable pero no en la estrella de chequeo podemos estar seguros de haber efectuado observaciones válidas (aunque también es posible, pero ya menos probable, que la estrella de comparación sea variable: sería hora de estudiarla detenidamente buscando otra estrella de comparación).

AIP₄WIN es más útil en el estudio de variables "sueltas", como en este caso, que AstroArt: mientras que el segundo necesita un mínimo de cinco estrellas para la calibración fotométrica el primero sólo requiere dos; por el contrario AstroArt es más potente y útil en el estudio de variables "apiñadas" (como las de un cúmulo estelar abierto o globular) que AIP₄WIN.

Una vez localizada la zona en la que estaba situada la variable, estrellas de comparación C y chequeo K (figura 2), procedí a elaborar una sencilla rutina de trabajo: dado que el sistema gira en un intervalo de 1.58 días sería preciso obtener imágenes todas las noches despejadas durante el máximo tiempo posible; desde Cáceres podía efectuar un seguimiento fotométrico de calidad entre 30 y 60 minutos cada noche antes de que la estrella, lentamente, descendiese mucho y la precisión de las mediciones empeorase. Después de algunas pruebas y experimentos decidí probar un método de "fotometría rápida" para comprobar si podía tomar imágenes en rápida cadencia: tras algunos experimentos y pruebas comprobé que estaba en disposición de capturar imágenes a intervalos de dos minutos entre tomas, con lo cual

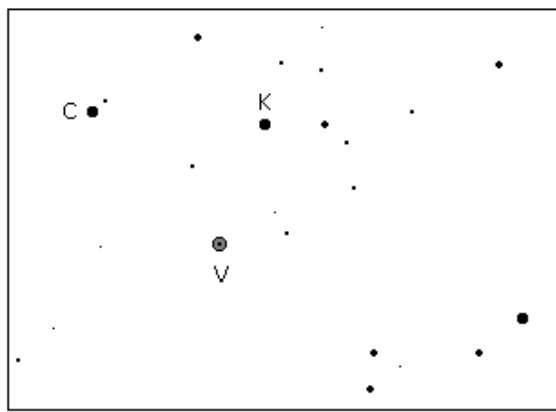


Figura 2. Mapa de la zona que rodea a BF Aur: he recuadrado el campo capturado por la CCD con el reductor de focal (13.69' x 9.82'); las estrellas rotuladas son: la variable BF Aur (V), la estrella de comparación (C) y la de chequeo (K). Norte abajo y este a la derecha.

incluso las variables rápidas podrían ser estudiadas en el futuro sin muchas dificultades técnicas.

Al ser un astro brillante no fue preciso utilizar exposiciones muy largas: debido a que la nueva montura no estaba correctamente orientada no pude pasar de los 15 segundos al principio, alargando las exposiciones hasta los 25 segundos al final de la campaña cuando la orientación de la montura mejoró sustancialmente.

Como astro de comparación elegí la estrella TYC 2899-175-1 de magnitud V 9.90 y como astro de chequeo la estrella TYC 2899-544-1 de magnitud V 10.40, ambas en la misma zona formando un triangulito con la variable de $4 \times 3'$ aproximadamente: la primera de ella (B5) tenía un espectro y color similar al de BF Aur mientras que la segunda (A0) lo tenía también parecido, por lo cual cualquier cambio debido a las condi-

ciones atmosféricas (por ejemplo debido a la extinción al variar de altura) debería afectarlas por igual. Una débil estrellita de magnitud V 11.84 aparecía, muy próxima, al SE de la estrella de comparación: afortunadamente distaba más de 15" (el diámetro del anillo fotométrico utilizado medía 12") de manera que no afectó con su luz las mediciones que tomé.

Dado el gran campo del chip con esta focal (figura 3) cabía la posibilidad de utilizar otras estrellas de la zona como astros de chequeo si era preciso, por ejemplo dos de ellas situadas al NE: al final no hizo falta de modo que todas las mediciones han sido homogéneas a lo largo de la campaña; dentro de lo posible he utilizado astros TYCHO de magnitudes bien determinada.

Buscando en SIMBAD encontré un trabajo fotométrico bastante reciente elaborado por Demircan et al. (1997): basado en 547 observaciones fotométricas realizadas en 19 noches (entre agosto de 1988 y marzo de 1989) con el telescopio Maksutov de 30 cm del Observatorio de la Universidad de Ankara, muestra las curvas de brillo obtenidas con filtros V , B y U (figura 4); como podemos ver la profundidad de los mismos es próxima a 0.48 magnitudes con cada filtro.

Buscando de nuevo en SIMBAD comprobé que en el trabajo de Schneller (1961), cuyas curvas de luz aparecen en la figura 5, la profundidad medida con filtros B y V era igual a 0.737 y 0.744 magnitudes respectivamente: es evidente que los astrónomos turcos no llegaron a capturar los mínimos realmente, aunque sí instantes muy próximos. (Otra posibilidad es que su fotometría estuviese levemente equivocada: la diferencia con la profundidad medida por Schneller es próxima a 0.26 magnitudes.)

Una vez procesadas las imágenes de bias, campos oscuros (promedio de siete) y campos planos (promedio de nueve) fueron abiertas y medidas con AIP₄WIN, almacenando las mediciones en sendos documentos de texto que posteriormente

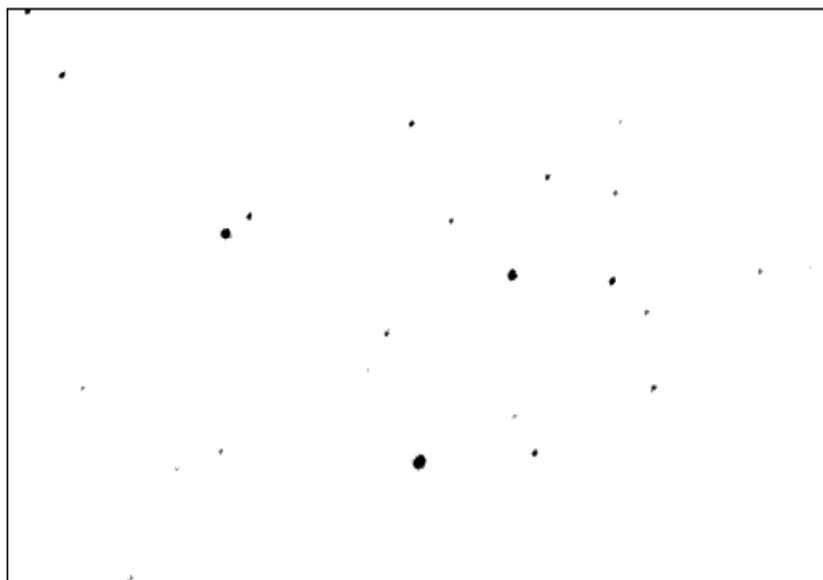


Figura 3. Imagen CCD de BF Aur obtenida por el autor en banda V : en la misma toma podemos ver la variable, la estrella de comparación y el astro de chequeo; el campo capturado es igual a 13.69' x 9.82'. (F. A. Violat Bordonau.)

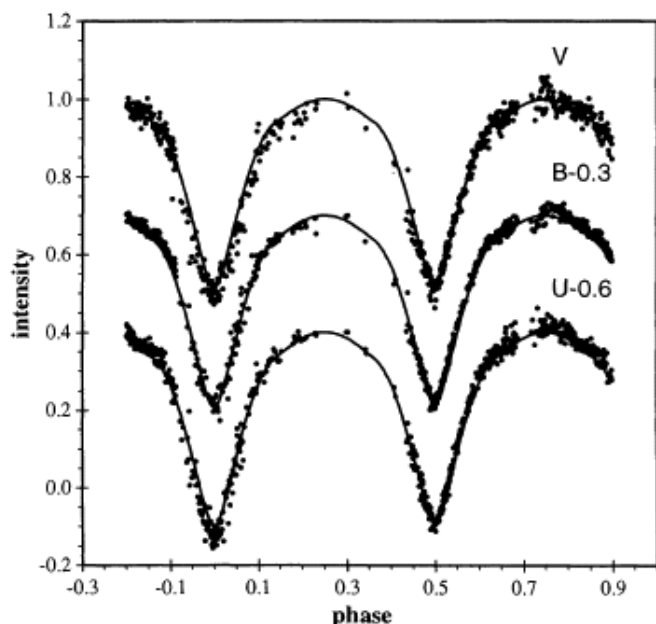


Figura 4. Curvas de luz tomadas del trabajo de Demircan et al. (1997): podemos apreciar que los eclipses primario y secundario tienen la misma profundidad, siendo las tres curvas prácticamente similares con los todos los filtros.

serían analizados: para ello he utilizado el programa *Análisis de Variabilidad Estelar* (A.V.E.) elaborado por Rafael Barberá, miembro del G.E.A. (Grupo de Estudios Astronómicos), empleado con éxito en distintos estudios anteriores. He usado el algoritmo de Bloomfield para la búsqueda de los posibles períodos.

Al comenzar a trabajar comprobé al cabo de tres noches que mientras la variable había oscilado de brillo levemente (figura 6), habiendo registrado el inicio de uno de los mínimos la segunda noche, la estrella de chequeo había permanecido prácticamente estable las mismas tres noches: el sistema de trabajo funcionaba realmente. Tras cinco noches de trabajo la estrella presentaba ya una amplitud de 0.73 magnitudes: mis resultados eran más próximos a los registrados por Schneller (0.744 magnitudes) que a los medidos por Demircan et al. (0.478 magnitudes); sin duda los astrónomos turcos no llegaron a registrar en ningún momento el mínimo, pero sí los instantes inmediatamente anteriores o posteriores (cabía la posi-

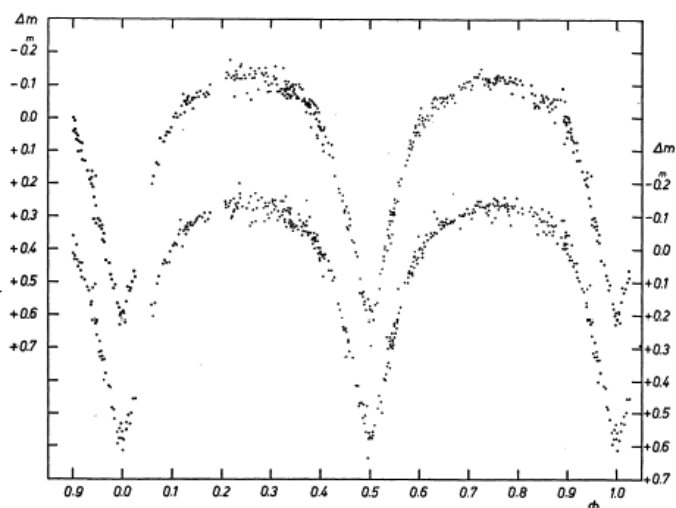


Abb. 1. Lichtkurven von BF Aurigae: oben im blauen, unten im gelben Spektralbereich

Figura 5. Curvas de luz tomadas del trabajo de Schneller obtenidas con filtro *B* (arriba) y *V* (abajo): podemos ver que en ambos casos las caídas de brillo son levemente superiores a 0.70 magnitudes.

bilidad de error aunque sus mediciones eran bastante modernas: de 1989).

Trabajando un máximo de 60 minutos por noche, todas las noches despejadas, no se obtenía una buena curva de luz sin algún trabajo: parte de un nuevo eclipse quedó registrado la novena noche, la decimocuarta y decimoquinta; ningún mínimo más fue registrado, aunque cuanto más avanzaba en mi trabajo más se aproximaba la estrella al crepúsculo vespertino: al final sólo podía trabajar unos pocos minutos antes de que descendiese demasiado y las mediciones se vieran resentidas por su baja altura. (La gran dispersión en las mediciones se debió tanto a la mala orientación de la montura, con la consiguiente *deriva* de los astros en las imágenes, como a la baja altura de la estrella sobre el horizonte local: las primeras imágenes registraban parte de la última luz crepuscular, las últimas estaban ya afectadas por la absorción atmosférica.)

Al final, trabajando durante 46 noches y obteniendo imágenes en 20 de ellas, logré reunir un total de 310 mediciones de brillo y capturar el inicio de tres eclipses: dos de ellos idénticos y un tercero distinto.

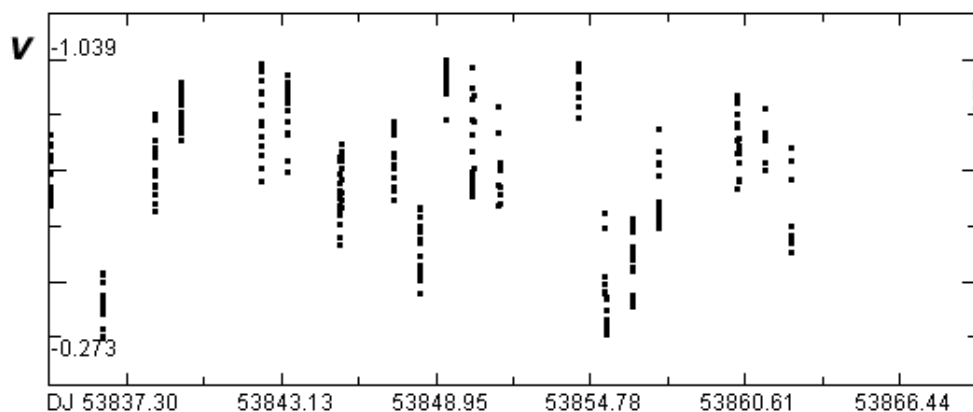


Figura 6. Curva de luz obtenida en 20 noches de trabajo a lo largo de un período de 46 días: el inicio de uno de los eclipses aparece registrado ya en la segunda noche de observación.

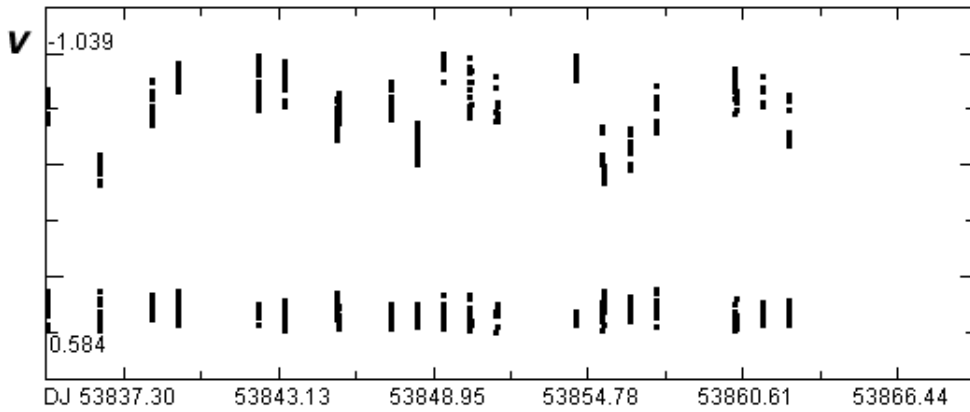


Figura 7. Curvas de luz de BF Aur (arriba) y la estrella de chequeo (abajo): nótese la mayor dispersión *-amplitud-* de la variable (0.77 magnitudes) comparada con el comportamiento fotométrico de la estrella de chequeo, que ha permanecido estable todo el tiempo (amplitud medida: 0.24 magnitudes).

La variable osciló entre las magnitudes diferenciales -1.039 y -0.273 presentando, por tanto, una amplitud máxima igual a 0.766 magnitudes: tomando como buena la amplitud medida por Schneller (0.744 magnitudes) la diferencia entre ambos valores en el sentido *Violat - Schneller* es igual a 0.02 magnitudes: bastante reducida pese a todas las dificultades ya mencionadas.

La estrella de chequeo, por contra, osciló tan sólo entre las magnitudes diferenciales 0.344 y 0.584 presentando una *amplitud ficticia* igual a 0.24 magnitudes.

Al analizar estas mediciones en el intervalo 1—3 días obtuve un período muy marcado igual a 1.36489 días y otro, menos importante, igual a 1.69469 días: ninguno de ellos producía curvas de luz coherentes aunque sí bastante curiosas (sobre todo el primero); al buscar nuevamente en el intervalo 1.30 — 1.70 días aparecieron los dos períodos anteriores y un tercer valor, poco marcado, igual a 1.53837 días que aunque se aproximaba al período oficial era algo más corto: 0.04485 días, casi 65 minutos. Esta diferencia se produjo por haber incluido datos de una noche de mala calidad fotométrica y contar con pocas mediciones.

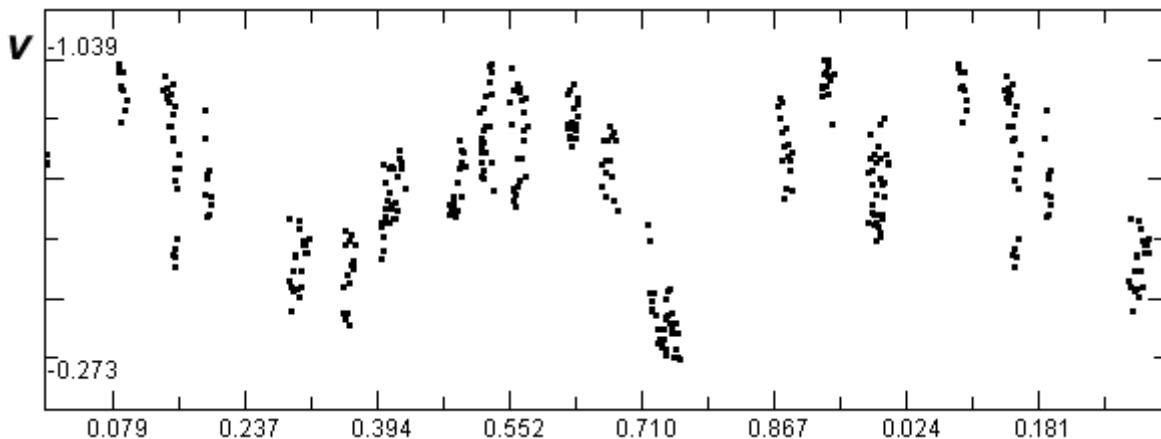
Al representar la curva de luz con el período

oficial (figura 8) se hicieron visible los dos eclipses aunque nunca completos: el primero de ellos en forma de leve caída y recuperación de brillo antes del inicio y después del final (fase 0.317) y el segundo cerca de la fase 0.788 ; en este último caso un examen detallado muestra realmente dos caídas de brillo que aparecen paralelas casi con la misma duración y brillo: este curioso fenómeno se ha debido a que he trabajado en el formato Día Juliano Geocéntrico en vez de Heliocéntrico, con lo cual el leve desfase entre mínimos (originado por la cambiante posición de la Tierra) ha creado el pequeño desplazamiento entre ellos que aparece como dos líneas paralelas casi idénticas.

Puedo convertir las magnitudes diferenciales en magnitudes estándar sabiendo que la estrella de comparación era de magnitud 9.90 *V*: según estos datos BF Aur ha oscilado entre las magnitudes $9.90 - 1.04 = 8.86$ y $9.90 - 0.27 = 9.63$; el rango oficial está entre las magnitudes 8.79 y la 9.51 . La estrella de chequeo se ha mantenido entre las magnitudes $9.90 + 0.34 = 10.24$ y $9.90 + 0.58 = 10.48$ (magnitud media: 10.36); su magnitud estándar es igual a la 10.40 *V*.

En ambos casos la diferencia con los valores oficiales es reducida, aunque apreciable.

Figura 8. Curva de luz de BF Aurigae utilizando un período igual a 1.583225 días; aparece tímidamente marcado el inicio y final de un mínimo (fase 0.317) y más notorios el inicio del otro mínimo (fase 0.788) capturado en dos ocasiones.



CONCLUSIONES

He obtenido 310 mediciones fotométricas de la estrella variable, binaria eclipsante, BF Aur entre los Días Julianos Geocéntricos 53824 y 53869: la campaña ha durado 46 días aunque sólo he podido obtener mediciones durante 20 noches. Dentro de cada sesión de trabajo he capturado imágenes en un intervalo de 30 a 60 minutos, dependiendo de la altura de la estrella sobre el horizonte local y las condiciones atmosféricas de la noche.

El análisis de las 310 imágenes me ha proporcionado un período orbital igual a 1.53837 días: aunque próximo al oficial (1.58322519 días) es 0.04485 días más reducido; seguramente esta diferencia se ha debido al corto período de tiempo observado y al bajo número de mediciones obtenidas: no he llegado a registrar su curva de luz por completo ni tampoco he podido capturar ambos mínimos con precisión.

La curva de luz obtenida muestra los eclipses primario y secundario aunque incompletos o mal representados; la amplitud registrada, 0.766 magnitudes, es muy similar a la medida por Schneller (0.744 magnitudes) pero no a la determinada por Demircan et al. (0.48 magnitudes).

Al convertir las magnitudes diferenciales en magnitudes estándar compruebo que la variable ha oscilado entre las magnitudes V 8.86 y 9.63: el rango oficial está entre las magnitudes V 8.79 y 9.51. La estrella de chequeo, por su parte, se ha mantenido entre las magnitudes V 10.24 y 10.48 (magnitud V media = 10.36), siendo su magnitud estándar $V = 10.40$.

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 18 de mayo de 2006.

REFERENCIAS

Demircan, O., Özdemir, S., Albayrak, B., Ak, H., Tanriver, M., Degirmenci, Ö. L., Erdem, A., Sezer, C., 1997, Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 33, 131

Morgenroth, O., 1935, Astron. Nach. 255, 425

Popper, D. M., 1981, ApJS, 47, 339

Schneller, H., 1961, Astronom. Nachrichten, 286, 97

EN INTERNET

Base de datos astronómicos SIMBAD:
<http://simbad.u-strasbg.fr/sim-fid.pl>

Búsqueda de bibliografía en NASA ADS:
http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

Identificación de BF Aur en SIMBAD:
V* BF Aur

Identificación de FL Aur en SIMBAD:
V* FL Aur

Atlas de mínimos y eclipses O-C:
<http://www.as.ap.krakow.pl/o-c/data/getdata.php3?BF%20aur>