



OBSERVACIÓN DE VARIABLES

Entre las actividades de los astrónomos aficionados ocupa un destacado lugar la observación de las estrellas variables puesto que, en la mayoría de los casos, para su estudio bastan unos simples prismáticos o un telescopio y la dedicación de un tiempo (que no tiene por qué ser prolongado) durante bastantes noches. Si bien existen observatorios profesionales dedicados a esta especialidad que trabajan con fotómetros de gran sensibilidad y precisión, su número es más bien escaso, con lo cual las variaciones de muchas de estas estrellas se conocen gracias a las aportaciones que realizan los aficionados, centralizadas fundamentalmente por la AAVSO (*American Association of Variable Stars Observers*) y la AFOEV (*Association Française des Observateurs d'Etoiles Variables*), entidades con las que colabora regularmente la Agrupación Astronómica de Sabadell.

La actividad principal de todo observador de estrellas variables consiste en determinar la magnitud de una estrella en el mayor número de ocasiones posible. De entre los diferentes tipos de variables que por sus irregularidades, o por sus erupciones, ofrecen un mayor interés para quien se dedica a un trabajo de patrullaje o de vigilancia. En la tabla I se ofrece una clasificación simplificada de los diferentes tipos de variables.

Existen varios métodos para la evaluación de la magnitud:

- Estimaciones visuales a simple vista, con prismáticos o con telescopio. La precisión que se alcanza suele llegar a 0,1 magnitud.
- Mediciones fotoeléctricas utilizando el telescopio provisto de un fotómetro. Con instrumentos amateurs puede llegarse a 0,003 magnitudes usando un buen fotómetro y un tratamiento informático para calcular los efectos atmosféricos.
- Con una cámara CCD que permita la medida cuantitativa de la luminosidad. Las cámaras ofrecen una buena precisión (del orden de 0,03 magnitudes), pero incluso con el tratamiento final no llegan a alcanzar la precisión de los fotómetros fotoeléctricos.

Observaciones visuales

El instrumento

En síntesis se trata de evaluar la magnitud de una estrella por comparación con otras vecinas de luminosidad conocida. Visualmente esto se hace a simple vista o con instrumentos de gran campo a fin de que se pueda *abarcar* simultáneamente tanto la estrella a analizar como las de comparación.

El observador más modesto, en lo que se refiere a instrumental, puede realizar una buena labor en el campo de las estrellas variables, pues unas 140 de las estrellas visibles a simple vista son de magnitud variable. De todas formas, los prismáticos son un instrumento muy adecuado porque resultan de sencillo manejo, son transportables, de gran campo y suficientes para observar gran cantidad de variables. Naturalmente, cuando el astro sea de brillo débil, deberá utilizarse un telescopio con el menor aumento posible para conseguir campos visuales de la mayor amplitud posible. Una montura acimutal es suficiente para este tipo de observaciones.

En el caso de variables de largo periodo y de gran amplitud luminica, evidentemente deberán utilizarse diferentes instrumentos según la magnitud que adopte la estrella; así, pues, si su magnitud está comprendida entre la 2,5 y la 4,5 será preferible hacer la comparación a simple vista; cuando sea de 4,5 a 7,5, podrán utilizarse unos prismáticos (de diferentes características, según el caso), y cuando el brillo de la estrella sea del orden de la 7ª magnitud deberá ya usarse el telescopio. Naturalmente, estos límites dependen en gran manera de la transparencia del cielo, ya que si se observa desde una ciudad resulta muy difícil o imposible divisar a simple vista estrellas de 4ª magnitud, mientras que en alta montaña, en condiciones excepcionales, pueden llegar a observarse estrellas de hasta la magnitud 6,5. En resumen: disminuye el rendimiento del observador al usar el instrumento inadecuado; la observación de una variable de 3ª magnitud no deberá realizarse con prismáticos, sino a simple vista, porque aparecería en el campo visual excesivamente bri-

TABLA I - Clasificación de las estrellas variables

A partir de la cuarta edición del «Catálogo General de Estrellas Variables» estas estrellas se clasifican en 7 grupos principales:

1.- VARIABLES ERUPTIVAS. Su variación suele ser irregular. Es debida a fenómenos eruptivos de la cromosfera o la corona de la estrella, acompañados de pérdida de masa, y por la interacción de las erupciones con el medio interestelar vecino. Existen 19 subtipos, entre los que destacan los que tienen por variable prototipo a FU Orionis, R Coronae Borealis y S Doradus.

2.- VARIABLES PULSANTES. Fluctúan de forma periódica o semirregular. Presentan contracciones y expansiones de su superficie que pueden ser radiales o no. También pueden presentar cambios más o menos regulares en su forma, no siempre esférica. Existen 33 subtipos descritos, según sus características, pérdida o no de masa y regularidad de las pulsaciones. Destacan los tipos representados por δ Cephei (cefeidas), RR Lyrae, Mira Ceti, RV Tauri y las semirregulares (SR).

3.- VARIABLES POR ROTACIÓN. Son estrellas de brillo no uniforme (por presencia de importantes «manchas» o fenómenos similares relacionados con irregularidades de sus campos magnéticos) o variables de forma elipsoidal cuya variación se debe a su rotación axial y al efecto de ésta desde el ángulo de visión del observador. Se conocen 7 subtipos; por ejemplo los representados por BY Draconis y FK Comae Berenices.

4.- VARIABLES CATACLÍSMICAS. Se caracterizan por explosiones que pueden ser causadas por fenómenos termonucleares en su superficie (estrellas novas) o en su interior (supernovas). También pueden ser ocasionadas por la caída de material rico en hidrógeno de un disco acreción sobre la superficie de una enana blanca. En muchos de los casos se trata de estrellas dobles muy cerradas cuyo carácter explosivo afecta a la evolución de ambos componentes del sistema. Se han descrito 14 subtipos. Además de las novas y supernovas (de diferentes clases), existen los subtipos representados por SS Cygni, SU *Ursae* Majoris y Z Camelopardalis.

5.- VARIABLES ECLIPSANTES. Tal como su nombre indica su variación de luz se debe a los eclipses entre las estrellas de un sistema binario. En su clasificación pueden utilizarse 3 criterios simultáneamente: a) Según la forma de su curva de luz, con 4 subtipos (por ejemplo, las algóidas como β Persei y las de tipo β Lyrae). b) Según las características físicas de sus componentes, con 5 subtipos (según la tipología de sus componentes, enanas, gigantes, de la secuencia principal, según su tipo espectral, etc.). c) Según el nivel de saturación de sus lóbulos de Roche, y, por ello, si ambas estrellas están o no en contacto entre sí (9 subtipos).

6.- FUENTES DE RAYOS X ÓPTICAMENTE VARIABLES. Son fuentes de rayos X que presentan variación de magnitud visual, en sistemas binarios en los que está presente una estrella de neutrones, enana blanca o posiblemente un agujero negro, según el caso. Se entiende que esa emisión se debe a la caída de material desde el otro componente del sistema doble. Existen 10 subtipos; por ejemplo los representados por V1343 Aquilae, HZ Herculi y AM Herculi.

7.- OTRAS VARIABLES. Cajón de sastre donde se clasifican otras variables poco conocidas, dudosamente clasificadas o de características absolutamente distintas por su naturaleza extragaláctica, como el caso de los cuásares variables (BL Lacertae, 3C 279, etc.).

Hay muchas estrellas variables que fluctúan simultáneamente por varias de las causas descritas, por lo que el análisis de su curva de luz es especialmente complejo.



llante como para emplear de forma satisfactoria el método de los «grados» que describiremos a continuación.

En la tabla II se da la magnitud límite alcanzable en observación visual con determinadas aberturas de telescopios o de prismáticos.

Estimación visual de la magnitud

Hay diversos métodos para obtener visualmente la magnitud de una estrella con mayor o menor exactitud, pero el sistema de los «grados» introducido en 1840 por Argelander, es el que destaca por su sencillez y por su precisión por lo que es el más usado por la mayoría de los aficionados.

Fundamentalmente se trata de evaluar la magnitud de una estrella variable comparándola con las estrellas vecinas, de las que se conocerá su luminosidad. En la figura 1 se muestra un campo estelar en el que V es la variable. Cerca de ella hay una estrella más brillante, denominada A (de magnitud 7,1), y otra más débil, B (de magnitud 8,5). Obsérvese que en las cartas estelares donde se indica las magnitudes, éstas siempre se dan sin la coma decimal a fin de evitar la confusión con puntos estelares.

La magnitud visual aparente de la estrella variable se obtiene partiendo de las magnitudes conocidas de A y B, de las estimaciones de las diferencias de brillo entre A y V, y, posteriormente, entre V y B. Estas estimaciones de las diferencias de brillo deben realizarse mediante el uso de una escala de «grados»:

- 1 grado:** Se dice que A es más brillante que V (la estrella variable) en 1 grado (A(1)V) cuando ambas estrellas parecen de igual brillo al primer golpe de vista, pero, después de un atento examen, parece, salvo raros instantes, que A es ligeramente más brillante que V.
- 2 grados:** Se dice que A es más brillante que V en 2 grados (A(2)V), cuando ambas estrellas parecen de igual luminosidad aparente a la primera ojeada, pero, rápidamente y sin vacilación, observamos que A es más brillante que V.
- 3 grados:** Puede decirse que A es más brillante que V en 3 grados (A(3)V), cuando desde el primer momento se percibe una ligera diferencia de brillo entre ambos astros.
- 4 grados:** A es más brillante que V en 4 grados (A(4)V), cuando hay una notable diferencia de brillo entre A y V.
- 5 grados:** Se escribe (A(5)V), cuando se observa una verdadera desproporción entre ambas estrellas.

Después de realizar la comparación entre A y V se efectúa, por el mismo método, la comparación entre V y B, para obtener expresiones de este tipo:

$$A(3)V(1)B; A(2)V(2)B; A(6)V(2,5)B; A(4)V(3)B$$

Como puede comprobarse en estos ejemplos, en caso de dudas irresolubles entre el 2º y el 3º grado, por ejemplo, puede usarse la expresión A(2,5)V. Asimismo se observará que en ocasiones se utiliza un 6º grado e incluso un 7º grado, pero es muy recomendable no usar el método a partir de 4º o 5º pues se pierde progresivamente precisión en los resultados.

Para pasar de la expresión deducida a la magnitud visual aparente que la variable tenía en el momento de la observación, se utiliza esta sencilla fórmula:

$$m_v = m_A + \frac{a}{a+b} \cdot (m_B - m_A)$$

donde m_v es la magnitud visual que resultará para la variable; m_A es la magnitud de A y m_B , la de B. Los valores a y b vienen dados por la expresión obtenida: A(a)V(b)B.

En el ejemplo de la figura mencionada, en caso de haber estimado una comparación A(2)V(3)B, la magnitud de la variable sería:

$$m_v = 7,1 + \frac{2}{2+3} \cdot (8,5 - 7,1) = 7,7$$

Evidentemente no debe confundirse el concepto de **grado** con el de **magnitud o décima de magnitud** (error en el que caen algunos debutantes). El método de Argelander, en realidad, se basa en una escala subjetiva de discriminación percepti-

TABLA II - Magnitud límite en función de la abertura

Diámetro	Mag. límite	Diámetro	Mag. límite	Diámetro	Mag. límite
30 mm	9,5	80 mm	11,6	200 mm	13,6
50 mm	10,6	110 mm	12,3	250 mm	14,1
60 mm	11,0	150 mm	13,0	320 mm	14,8

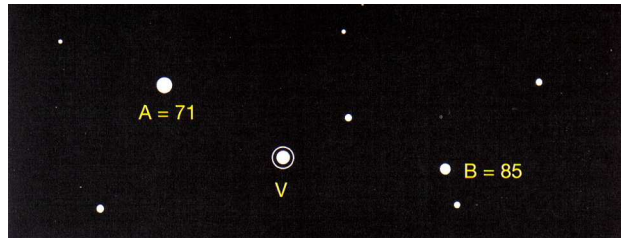


Figura 1. Región del firmamento donde V es la estrella variable y A y B son las estrellas de comparación, de magnitud conocida.

va de diferencias de brillo. Aunque a primera vista puede parecer un método demasiado subjetivo, ello no resta precisión a las mediciones, especialmente cuando se agrupan muchas observaciones obtenidas por distintas personas.

Imprecisiones a evitar en las medidas

El método de Argelander, por su propia naturaleza, adolece del inconveniente de la subjetividad del observador; a pesar de ello se utiliza en todo el mundo porque, teniendo en cuenta algunas recomendaciones, pueden minimizarse los inconvenientes.

- Recomendaciones:
- Evitar el **error de identificación**: siempre que exista una cierta duda, por leve que sea, en la identificación de la estrella variable, el observador deberá abstenerse de comunicar la comparación efectuada.
- No tener en cuenta datos o cálculos previos. Evitar la consulta de efemérides o de previsiones acerca del brillo que tendrá la variable, impidiendo así la posibilidad de caer en el llamado **error de sugestión**.
- En el momento de efectuar la comparación debe colocarse la variable y la estrella de comparación alternativamente en el centro del ocular. De esta forma se evita el **error de posición** (fenómeno Ceraski) que consiste en que dos estrellas del mismo brillo, situadas en línea paralela a la de los ojos, a la derecha e izquierda del centro del ocular, parecerán de distinto brillo según el observador que realice la medición. Ello es debido a que la luz incide en dos zonas distintas de la retina, reproduciendo brillos diferentes. Es imprescindible, pues, colocar las estrellas en el centro del ocular, sobre todo teniendo en cuenta que este error es estrictamente personal (distinto para cada observador) y especialmente remarcable en algunos.
- Evitar en lo posible diferencias importantes de color entre las estrellas. Son singularmente molestas las de color rojo intenso. De esta forma se evitarán el **efecto Purkinje** (que debe su nombre al psicólogo checo que lo advirtió) y el **efecto Galissot**. Sin embargo, es difícil evitar las diferencias de color puesto que la mayoría de variables tienen un intenso color rojizo. El efecto Purkinje, bastante notorio, consiste en que cuando se observa una estrella roja brillante (especialmente sobre un cielo con luz parásita, en un cielo no negro) a medida que transcurre el tiempo la estrella va «aumentando» su brillo por un efecto de acumulación de la percepción visual. El efecto Galissot es menos notable y consiste en que las estrellas rojas débiles irán, progresivamente, «disminuyendo» su brillo con el paso del tiempo. Para evitar ambos problemas no deben efectuarse miradas prolongadas y detenidas; deben realizarse rápidos vistazos alternativos a fin de evitar los efectos de «acumulación visual».



AGRUPACIÓN ASTRONÓMICA DE SABADELL
MEDICIONES DE MAGNITUD DE ESTRELLAS VARIABLES Y NOVAS
 Observador: Carlos Martínez Arnao

Instrucciones para registrar las observaciones ver nota al pie de página:

ESTRELLA VARIABLE	Lugar Observación	FECHA	HORA LOCAL	HORA TU	Instrumento	COMPARACION				MAG Estimada	CM	Cielo	Notas	
						mag. estrella A	grados	v	grados					mag. estrella B
R Tri	Lérida	20/10/2000	23h 22m	21h 22m	P 11x80	8.00	3	v	1	8.40	8.30	1.5		3
R Tri	Lérida	20/10/2000	23h 22m	21h 22m	P 11x80	8.00	3	v	3	8.60	8.30	1.5		3
								v			#DIV/0!			
R Tri	Lérida	28/10/2000	20h 30m	18h 30m	P 11x80	7.40	5	v	4	8.40	7.96	2		2
R Tri	Lérida	28/10/2000	20h 30m	18h 30m	P 11x80	7.40	5	v	0.5	8.00	7.95	2		2
R Tri	Lérida	28/10/2000	20h 30m	18h 30m	P 11x80	7.40	5	v	1	8.00	7.90	2		2
								v			#DIV/0!			
R Tri	Lérida	18/11/2000	19h 10m	18h 10m	P 11x80	5.80	4	v	1	6.90	6.88	2		N
R Tri	Lérida	18/11/2000	19h 10m	18h 10m	P 11x80	5.80	4	v	3	7.30	6.66	1.5		N
R Tri	Lérida	18/11/2000	19h 10m	18h 10m	P 11x80	5.80	3	v	6	8.40	6.67	2.5		N
R Tri	Lérida	18/11/2000	19h 10m	18h 10m	P 11x80	5.80	3	v	3	7.30	6.55	1.5		N
								v			#DIV/0!			
R Tri	Lérida	25/11/2000	19h 15m	18h 15m	P 11x80	5.80	4	v	3	6.90	6.43	1.5		3
R Tri	Lérida	25/11/2000	19h 15m	18h 15m	P 11x80	5.80	4	v	2	6.70	6.40	2.5		3
R Tri	Lérida	25/11/2000	19h 15m	18h 15m	P 11x80	6.20	2	v	3	6.90	6.48	1.5		3
R Tri	Lérida	25/11/2000	19h 15m	18h 15m	P 11x80	5.80	4	v	3	6.70	6.31	2.5		3
								v			#DIV/0!			
R Tri	Lérida	03/12/2000	22h 15m	21h 15m	P 11x80	5.80	3	v	4	6.90	6.27	1.5		2.5
R Tri	Lérida	03/12/2000	22h 15m	21h 15m	P 11x80	5.80	3	v	4	6.70	6.19	1.5		2.5
R Tri	Lérida	03/12/2000	22h 15m	21h 15m	P 11x80	5.80	3	v	3.5	6.70	6.22	1.5		2.5
								v			#DIV/0!			
R Tri	Lérida	09/12/2000	23h 25m	22h 25m	P 7x50	5.80	3	v	4	6.90	6.27	1.5		2 CL
R Tri	Lérida	09/12/2000	23h 25m	22h 25m	P 7x50	5.80	3	v	5	6.90	6.21	1.5		2 CL
R Tri	Lérida	09/12/2000	23h 25m	22h 25m	P 7x50	5.80	3	v	6	7.00	6.20	2		2 CL
								v			#DIV/0!			
								v			#DIV/0!			
								v			#DIV/0!			
								v			#DIV/0!			

Figura 2. Reproducción de un parte para la observación de estrellas variables. Datos imaginarios.

- Es importante efectuar, siempre que sea posible, varias comparaciones con estrellas de referencia distintas a fin de minimizar los errores. En estos casos el valor medio puede alcanzar, e incluso superar, la precisión de 0,1 magnitudes. No usar estrellas de referencia de brillo muy dispar o muy parecido. De esta forma se evita la utilización del 5° ó 6° grado, o fracciones de grado (como 0,5) que suelen ser sumamente imprecisas. Por norma general se recomienda, siempre que sea posible:

$$0,5 \text{ magnitud} < m_A - m_B < 1,0 \text{ magnitud}$$

- No llevar a cabo comparaciones (sobre todo a simple vista o utilizando prismáticos) entre estrellas próximas a la Luna, especialmente en épocas cercanas a la Luna llena, a fin de que no se vea afectado el brillo de las estrellas por contraste con el fondo iluminado del cielo.
- Evitar comparaciones entre estrellas a baja altura sobre el horizonte. Las capas de aire y polvo en las zonas bajas son muy discriminativas en ciertas longitudes de onda, de forma que las estrellas rojas aparecerán más brillantes y las blanco-azuladas más débiles de lo que en realidad son.
- Procurar trabajar en noches de cielo probadamente despejado y, en particular, exentas de nubes filamentosas como los cirros.
- Evitar los cambios de telescopio o de prismáticos cuando no sean necesarios.
- Muchos observadores se sienten más cómodos efectuando las estimaciones de magnitud por interpolación mental directa, sin utilizar el método de Argelander. Estos datos son igualmente útiles, pero siempre es conveniente reflejar la magnitud de las estrellas de referencia utilizadas.

Resumiendo: El observador de estrellas variables deberá utilizar un instrumento adecuado al brillo de la estrella; deberá evitar estrellas de referencia muy diferentes o casi idénticas de magnitud; efectuará varias comparaciones con estrellas de diferentes magnitudes; preferirá noches sin Luna y totalmente despejadas a noches con Luna llena; evitará llevar a cabo comparaciones de variables cercanas al horizonte. En cuanto a la medición en sí, la efectuará dando rápidos vistazos alternativos entre la variable y la estrella de referencia, situando, en cada ocasión, alternativamente, tanto una como otra en el centro del campo del ocular.

Anotación de los resultados

En el mismo momento de llevar a cabo las observaciones no deben anotarse los datos directamente en el «parte» definitivo,

sino que previamente se anotarán en un bloc de notas o borrador. En este borrador deberá reseñarse:

- Estrella observada.
- Fecha de la observación.
- Hora en que ha sido tomada la medida en Tiempo Universal (UT), con precisión de un minuto.
- Instrumento utilizado.
- Comparaciones efectuadas expresadas según la forma de Argelander ya comentada; por ejemplo:
 $7,1 (2) \vee (3) 8,5$
 $7,1 (2) \vee (4) 8,8$ etc.
- Calidad de medición, que es la fiabilidad que da el observador a la medición lumínica realizada. Puede indicarse según la siguiente escala: 1: comparación muy precisa, sin ninguna duda. 2: comparación mediana, regular. 3: comparación dudosa.
- Notas anexas con comentarios acerca de las mediciones efectuadas, condiciones meteorológicas, etc.

Cuando se ha reunido un cierto número de observaciones de una misma estrella se procede a transcribirlas al parte.

La Agrupación Astronómica de Sabadell tiene editado un modelo de parte de observación que facilita el registro de las mediciones y la coordinación de los resultados de las distintas campañas; estos partes de remiten a los asociados que los solicitan en forma impresa o en archivo Excel y que también puede encontrarse en la página web. En la figura 2 se muestra un ejemplo de parte.

En el parte la hora debe indicarse con precisión de un minuto. En la columna siguiente se anota el instrumento utilizado mediante el siguiente código: **SV**, simple vista; **P10x50** serían unos prismáticos de diez aumentos y 50mm de abertura; **R75** sería un telescopio refractor de 75mm de abertura. Los telescopios Newton se codifican con una **T**, los Schmidt-Cassegrain con **SC** y los Maksutov con una **M**. En todos los casos debe anotarse la abertura en milímetros.

Las columnas siguientes son para cada una de las comparaciones realizadas, bien con el método de los grados de Argelander (sistema recomendado) o escribiendo únicamente las magnitudes de las estrellas de referencia para efectuar la interpolación.

A continuación se indica la magnitud estimada. El parte de observación es una hoja Excel, por lo que la magnitud es calculada automáticamente tras anotar los datos de la comparación si se rellena desde un ordenador.

La columna siguiente sirve para reflejar la calidad de la medición según la autovaloración del observador, de acuerdo con los dígitos explicados anteriormente.

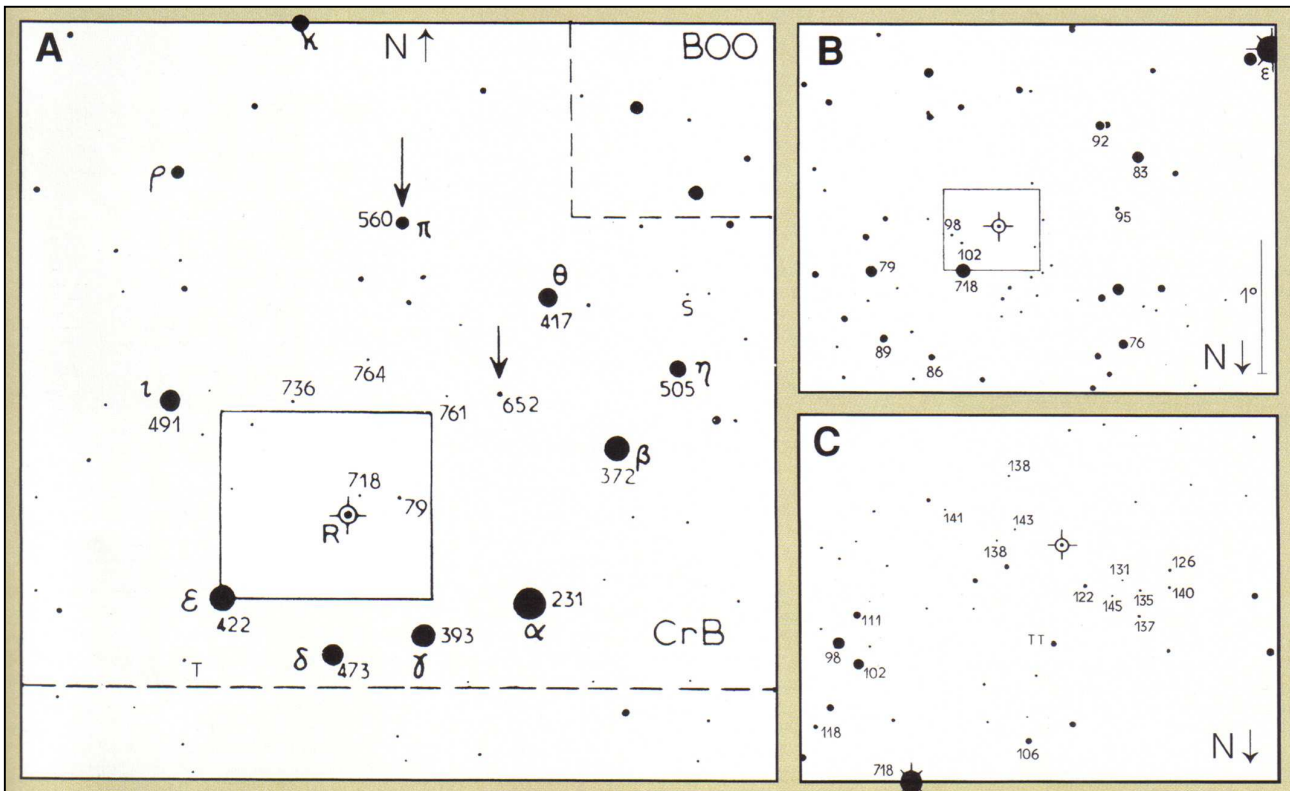


Figura 3. Cartas para la determinación de magnitudes de la estrella variable R CrB. La primera tiene el norte arriba y sirve para identificar la zona a simple vista; las restantes tienen el norte abajo para su uso mediante telescopio. Las magnitudes se indican junta a cada estrella sin coma decimal.

Es importante indicar la calidad del cielo según el siguiente criterio: N para señalar la presencia de nubes, CL si se observa con cierta interferencia por causa del resplandor lunar, H si la medición se ha realizado a baja altura sobre el horizonte. Si la transparencia es mala se anotará «1», si es media «2» y si es buena «3».

Finalmente hay una última columna para ampliar datos (más detalles sobre la calidad del cielo, color de la variable o cualquier otro aspecto relevante).

Cartas de estrellas variables

En la actualidad existen muchas ediciones de cartografía de calidad del firmamento en forma impresa o en formato informático que es de gran utilidad para localizar las estrellas variables. Por otra parte, muchos telescopios de aficionado disponen de la función «GOTO» que permite localizarlas de manera sencilla, pero las cartas son igualmente necesarias para identificar las variables en el campo del ocular. Sin embargo, esta cartografía no es útil para la obtención de las magnitudes de referencia al efectuar las mediciones de brillo, ya que la fuente de las magnitudes con que se confeccionan las cartografías suele ser fotográfica o no suficientemente calibrada (las magnitudes tienen sólo un valor orientativo).

Para la observación de variables es necesario que cada una de las magnitudes sea contrastada, que la fuente, además de fiable, sea la misma para todos los observadores de una estrella variable concreta y que, en definitiva, se seleccionen las estrellas más adecuadas en función del índice de color y de la proximidad a la variable.

Todos estos factores se tienen en cuenta en las cartas editadas por los centros especializados en el estudio de estrellas variables. Las cartas que facilita la Agrupación Astronómica de Sabadell a sus asociados para los distintos programas de observación tienen en cuenta todos estos factores y debe evitarse, en la medida de lo posible, la utilización de otras fuentes.

En la figura 3 se reproducen, como ejemplo, unas cartas para la determinación de magnitudes de R CrB. Hay una carta general de la zona, con estrellas visibles a simple vista, una segunda carta pormenorizada con estrellas asequibles a prismá-

ticos, y una tercera para ser utilizada con un telescopio medianamente potente, que incluye estrellas hasta la 14^a magnitud. Las dos últimas tienen el norte invertido.

La Agrupación Astronómica de Sabadell facilita a los asociados que lo solicitan las cartas correspondientes a una determinada estrella que pueda interesarles.

Composición de las observaciones

La observación aislada de una sola estrella por parte de un solo observador apenas tiene interés alguno, salvo que se trate de un hecho singular como, por ejemplo, la explosión de una estrella cataclísmica o una nova o supernova.

Todo aficionado a las estrellas variables debe procurar conseguir el mayor número de mediciones de una determinada estrella para obtener, finalmente, una curva de luz con gran número de puntos y, por lo tanto, de mayor fiabilidad. En este sentido, es sumamente interesante la observación en grupo, con lo cual diversas personas se alternan durante bastantes noches para observar una estrella (en la práctica, pueden hacerse muchas estrellas cada noche). Los resultados finales, promediados, son así de sumo interés.

Haciendo esto noche tras noche y trasladando las lecturas obtenidas en un sistema de ejes de coordenadas, de modo que en el eje de ordenadas se señale la intensidad luminosa y en el de abscisas el tiempo, se obtiene la curva de luz de la estrella observada.

Si las estrellas tienen periodos regulares (p.e., en el caso de las eclipsantes), las mediciones obtenidas pueden superponerse para conseguir una curva compuesta que parte de un día y hora cero arbitrarios. El gráfico contiene así muchos más puntos y, lógicamente, aumenta también la precisión de la curva.

Otro trabajo de interés es el de determinar el momento del mínimo o del máximo en estrellas de periodo corto como son las eclipsantes o las de tipo RR Lyrae. Comparando el momento del mínimo o del máximo con las efemérides de la estrella se determina un valor que, salvo errores de apreciación, indica la deriva del periodo de esa estrella. Este valor (denominado O-C) es de gran interés para conocer la evolución de estas variables.

La observación visual de estrellas variables es un sistema fundamental para el estudio de estos astros. Centenares de observadores reúnen cada año más de 500.000 observaciones, lo que permite el seguimiento de gran parte de las estrellas variables catalogadas. Colaborar en este trabajo es una labor al alcance de cualquier aficionado.

Descubrimiento de novas y supernovas

Si bien la medición visual de magnitud de las estrellas novas y supernovas no es distinta a la del resto de estrellas variables, sí que merece un comentario aparte el descubrimiento de estos astros.

La mayoría de las estrellas novas son descubiertas por aficionados y no son necesarios medios sofisticados para descubrir una nova. Aunque es posible hacerlo mediante observaciones ocasionales, lo más habitual es que un descubrimiento sea el resultado de centenares o miles de horas de observación visual o de muchísimas fotografías (tabla III).

Los métodos que se utilizan para descubrir novas son tres:

1. Método visual metódico. El observador suele utilizar unos prismáticos (preferiblemente de gran campo y con trípode). El observador efectúa rutas preestablecidas por zonas de la Vía Láctea ya que prácticamente no se detectan novas en zonas alejadas de la misma. Con el paso de las horas memoriza gran parte de los campos estelares escogidos, de forma que cuando aparece una nova advierte enseguida una alteración en la geometría de la posición memorizada de las estrellas. Lo habitual es que un observador se especialice en determinadas zonas concretas por cada temporada de observación y que entre varios se «repartan» el cielo en una especie de patrullaje más o menos exhaustivo según el número de observadores disponibles. Esta es la metodología que utiliza el grupo de búsqueda visual de novas del principal centro del mundo de la especialidad, la AAVSO.

Aunque puede parecer que este sistema es poco fiable, la realidad es que los resultados lo desmienten. Pocas novas brillantes se escapan a este método; muchos amateurs han descubierto una nova de esta forma y algunos incluso varias, como Alfredo Pereira con tres descubrimientos entre 1999 y 2001 y George E.D. Alcock con cinco entre 1967 y 1991.

2. Método fotográfico. Se dan muchos descubrimientos de novas mediante este sistema. Suele utilizarse un equipamiento muy sencillo: teleobjetivos entre 85 y 200 mm y exposiciones de alrededor de 10 minutos. Habitualmente se realizan dos exposiciones por zona para que una fotografía pueda confirmar la otra en caso de aparecer una nova (y descartar una mota de polvo en el revelado). La tarea complicada es el análisis de las fotografías con instrumentos que permiten alternar la imagen de una misma zona del cielo. La estrella que «parpadea» puede ser una nova. Recientemente Kazuya Hatayama ha ensayado un sistema muy práctico para descubrir novas brillantes: ha dividido la Vía Láctea en 85 zonas de búsqueda. Cada noche despejada hace dos fotografías de 12 de estas zonas. Con un teleobjetivo de 100 mm hace fotografías de 1 minuto de exposición (sin seguimiento). Desde la zona donde realiza este trabajo puede alcanzar la magnitud 10^a con este método. Más ingenioso es aún el sistema de análisis: a la mañana siguiente superpone cada imagen con otra de la misma zona de su archivo de imágenes anteriores. Desplaza ligeramente cada una y observa multitud de «dobles». Cuando aparece una estrella «sola» puede ser una nova.

TABLA III Principales novas aparecidas entre 1999 y 2001 (Todas descubiertas por aficionados)

Nova	Fecha	Descubridor	Método	M _v
Aql 1999-2	1/12/99	A.Pereira (Portugal)	Visual	6,0
Pup 2000	22/12/00	K.Kanatsu (Japón)	Fotog.	8,7
Sco 2001	13/05/01	K.Haseda (Japón)	Fotog.	10,5
Cyg 2001-2	18/08/01	A.Tago (Japón)	Fotog.	8,8
Sgt 2001-2	26/08/01	A.Pereira(Portugal)	Visual	7,6

Hasta este momento no se realiza búsqueda de novas mediante CCD. La fotografía convencional es mucho más efectiva, especialmente por el gran campo que abarca cada imagen.

3. El azar. Bastantes novas se descubren de forma casual, cuando un observador está buscando otro objeto y encuentra una estrella que no aparece en las cartas celestes. El hecho de buscar mediante telescopio a los objetos por acercamiento sucesivo de estrellas de referencia puede dar en algún caso esta sorpresa. Hoy en día, con el incremento de los telescopios automatizados, esta vía indirecta de descubrimiento de novas disminuye. Con el método fotográfico suelen descubrirse novas con magnitudes entre la 8^a y la 12^a; las que pasan inadvertidas suelen ser descubiertas por los buscadores visuales (las suelen detectar entre las magnitudes 6^a y 9^a). En ocasiones las novas se descubren cuando son visibles a simple vista (como la Nova Cygni 1975). La fase de incremento de luminosidad suele ser tan rápida que es muy importante transmitir el descubrimiento de la nova lo antes posible. Previamente deberá haberse confirmado que se trata en realidad de una nova, consultando la cartografía y la situación de asteroides en la zona.

Descubrimiento de supernovas: Al contrario del caso de la nova, las estrellas supernovas deben buscarse con imágenes CCD. Se localizan en galaxias muchas veces bastante débiles y de ahí que el campo de la imagen no sea relevante y sí, en cambio, la magnitud límite alcanzada. Por este motivo no suelen hacerse descubrimientos fotográficos de supernovas. Curiosamente, casi cada año existe alguna supernova descubierta visualmente por aficionados, aunque son casos de auténtica fortuna y de paciente labor nada fácil.

De todas formas, cada vez hay más amateurs que disponen del equipo suficiente para acometer la búsqueda de supernovas con CCD. No es una tarea fácil porque existen numerosos equipos profesionales que la efectúan de forma robotizada, con instrumentos de altas prestaciones. Los medios a utilizar son un telescopio y una cámara CCD (y un cielo oscuro...) que permitan llegar fácilmente, como mínimo, a la magnitud 18^a. Resulta casi imprescindible una instalación fija y gran disponibilidad de tiempo.

Para luchar con los numerosos programas de búsqueda, la metodología debe ser rigurosa y el trabajo constante: planificar la toma de imágenes en rutas concretas evitando la pérdida de tiempo en la búsqueda de los objetos, y, lógicamente, no detenerse en galaxias que por su debilidad no podrán acoger supernovas con brillo alcanzable con los medios disponibles. Finalmente, las galaxias observables cerca del horizonte este en la madrugada y del oeste al anochecer suelen estar fuera de los programas de búsqueda profesionales.

Observaciones con CCD

La aparición de las cámaras CCD ha relegado a un segundo plano el uso del fotómetro fotoeléctrico en muchos tipos de observaciones astronómicas, siendo en el campo de las estrellas variables donde más se ha notado este cambio. Las razones son varias, pero quizás la más importante es que en una misma imagen puedan medirse la estrella variable, el fondo del cielo a su alrededor y una, o mejor varias, estrellas de comparación con el chequeo de sus respectivos cielos. Obtenidas todas a la vez.

El precio cada vez más asequible de las cámaras CCD, o incluso su construcción por parte del aficionado, ha permitido

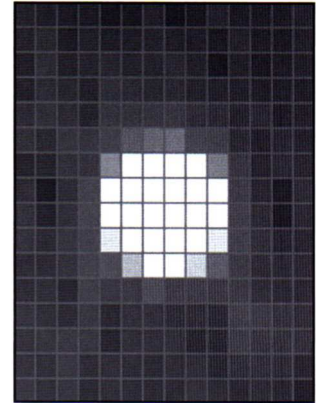


Figura 4. Imagen de una estrella sobre los píxeles de una cámara CCD.

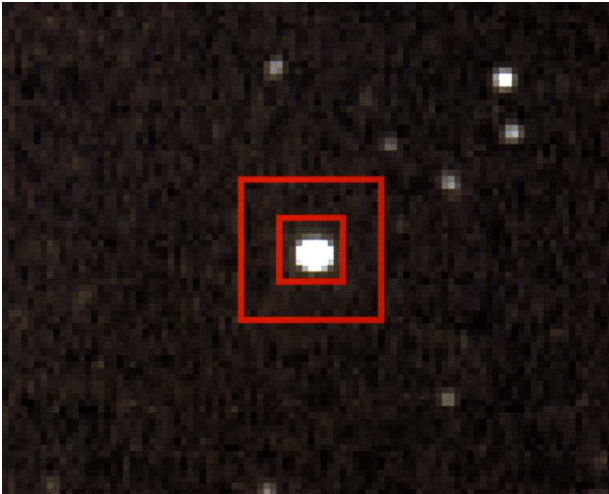


Figura 5. Para fotometría de una estrella se determina la intensidad luminosa de la superficie del recuadro interno y después la del fondo del cielo (franja entre los dos recuadros).

que sean muchos los que las tengan. Si a ello se añade un telescopio de tamaño medio (a partir de 150 mm) y una montura ecuatorial, se tendrá un equipo capaz de realizar trabajos de considerable interés científico. También es cierto que se adquieren muchas cámaras CCD con el único fin de obtener imágenes artísticas.

Un problema importante es la búsqueda del campo y el enfoque de la cámara. Para ello es muy eficaz disponer de un espejo abatible, un «flip-mirror», que permita ver a través del telescopio sin necesidad de sacar la cámara; así puede dejarse enfocada y sólo tener que realizar pequeños retoques al obtener las imágenes.

Fotometría diferencial

La capacidad de las cámaras CCD para registrar más de un astro en una sola imagen, las convierte en un excelente dispositivo para realizar «fotometría diferencial»: determinar el brillo de una estrella con respecto al conocido de otras que aparecen en la imagen, de modo bastante similar a como se ha descrito en las observaciones visuales. Para ello es necesario medir la cantidad de luz de cada objeto que ha recibido la cámara CCD.

Una estrella en la imagen obtenida con una CCD es un disco que ocupa varios píxeles, más brillantes los del centro y más débiles a medida que se alejan (fig. 4). El brillo de la estrella es proporcional a la suma de intensidades en cada píxel tras substrarle el valor que tiene el fondo del cielo. Habitualmente esta tarea se realiza mediante programas adecuados (Iris, AstroArt, LAIA, Canopus,...). luego se calcula la intensidad dentro de una abertura determinada por el astrónomo y la intensidad del cielo en una corona centrada también en la estrella (fig. 5).

A partir de aquí se puede optar por realizar dos tipos de cálculos: Obtener la magnitud instrumental de la estrella variable u obtener la magnitud estándar.

La **magnitud instrumental** es el valor numérico que se obtiene a partir de la intensidad estelar (FL), midiendo el número de cuentas de la estrella en cuestión previa substracción de la contribución del fondo de cielo. El programa que se utilice calculará el valor del fondo de cielo; usualmente se determina su valor medio en la corona en torno a la estrella y se calcula la contribución para el área que se ha atribuido a la estrella. A fin de obtener resultados razonables en las magnitudes debe introducirse la que se denomina **constante de magnitud instrumental C**, que junto con el flujo del objeto que se analiza permite calcular su magnitud mediante la fórmula:

$$\text{Magnitud instrumental} = C - 2,5 \log_{10} (FL)$$

El problema radica en que la cantidad de luz captada no sólo varía en función de las oscilaciones de la propia estrella



Figura 6. Programa LAIA para determinar la magnitud instrumental de tres estrellas: la variable y dos estrellas de comparación,

variable, sino que también lo hace por otros factores que alterarían notablemente la rigurosidad de los resultados, como son:

- Posibles variaciones en la transparencia atmosférica debida a causas meteorológicas (humedad, turbulencia, nubes).
- Extinción atmosférica, provocada por la variación de la masa de aire, esto es, el espesor de la atmósfera que atraviesa la luz procedente de la estrella hasta incidir en el detector. No siempre se observa un astro a la misma altura sobre el horizonte, por lo que el espesor varía constantemente.
- El grado de contaminación lumínica que es diferente en distintas zonas del cielo, sea en función de la fase lunar o provocada por la iluminación artificial.

Afortunadamente en la imagen digital se habrán captado más estrellas aparte de la variable, y éstas estarán igualmente

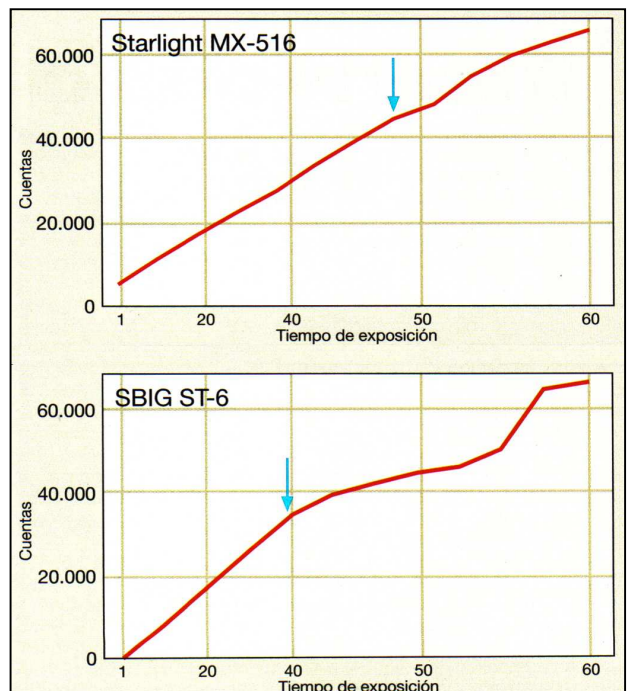


Figura 7. Dos ejemplos de linealidad en cámaras CCD. Arriba: Starlight MX-516 lineal hasta unas 45.000 cuentas, donde presenta una pequeña inflexión. Abajo: SBIG ST6 que pierde la linealidad hasta las 35.000 cuentas.



alteradas por los mismos factores. Por lo tanto, al aplicar la fórmula mencionada a las distintas estrellas registradas que son de brillo constante (denominadas **estrellas de comparación**), se obtendrán sus magnitudes instrumentales. Restando la magnitud instrumental de la estrella variable a la magnitud instrumental de cada estrella de comparación, se conoce la diferencia que tiene la primera respecto a las demás sin las alteraciones debidas a agentes externos.

Todo este proceso, que pudiera parecer complejo, lo realizan los programas informáticos especializados en fotometría después de haber introducido determinados parámetros, como el tamaño en píxeles de las estrellas, la constante de magnitud instrumental y la indicación de cual es la estrella variable y cuáles son las de comparación. Prácticamente sólo hay que «clicar» sobre la imagen de cada una de ellas para obtener su magnitud instrumental (fig. 6).

Para determinar la evolución de una estrella variable a lo largo de un periodo de tiempo, puede ser suficiente la obtención de la magnitud instrumental. Sin embargo en la mayoría de ocasiones será preciso conocer la magnitud real de la estrella y poder contrastar los resultados obtenidos con los de otros observadores. A este proceso se le denomina «determinación de la magnitud estándar».

Uso de filtros

Dado que las estrellas brillan más o menos (según su estado evolutivo) en unas regiones u otras del espectro electromagnético y que la sensibilidad espectral de las cámaras CCD es diferente de unas a otras, se hace necesario el uso de filtros fotométricos. Los más comunes son los denominados de Johnson-Cousins, que en el visible constan de 5 filtros: U, B, V, R e I (ultravioleta, azul, verde, rojo e infrarrojo). Los más usados son V, R e I puesto que la máxima sensibilidad de las cámaras CCD está en las longitudes de onda largas.

Para obtener la magnitud estándar debe tomarse la magnitud de las estrellas de comparación que corresponde al filtro empleado, no a otro. Como las luminosidades de las estrellas de comparación suelen obtenerse de catálogos, debe tenerse presente que de un catálogo a otro pueden haber discrepancias, con lo cual es preciso comprobar la coherencia en las magnitudes de comparación.

Corrección de las imágenes

Las imágenes que se obtienen con el fin único de realizar fotometría deben corregirse de corriente de oscuridad y de la respuesta del detector. Para obtener la imagen de la corriente de oscuridad deben tomarse, al menos, 10 imágenes con el obturador cerrado o bien con la tapa del telescopio puesta y las luces apagadas; el tiempo de exposición debe ser igual al de las tomas realizadas. Estas 10 imágenes, o más, deben promediarse luego para obtener la imagen de corriente de oscuridad definitiva. Las imágenes de la respuesta del detector (o «*flatfields*») deben obtenerse para cada filtro usado iluminando un difusor (metacrilato blanco o papel vegetal) situado ante a la boca del telescopio. También es preciso tomar 10 como mínimo, con su correspondiente corriente de oscuridad, y promediarlos. Otra posibilidad es emplear la luz diurna. Para ello se apunta el telescopio hacia el polo norte o el cenit, por ejemplo (es muy importante evitar la luz directa del Sol, pues puede romper los filtros o la misma CCD) y, con el telescopio parado, obtener imágenes no saturadas para luego promediarlas, u obtener la mediana si en ellas aparecen estrellas.

A cada imagen se le debe abstraer la corriente de oscuridad de su mismo tiempo de exposición y dividir el resultado por la imagen de la respuesta del detector obtenida con el mismo filtro, al que se habrá restado la corriente de oscuridad específica.

Al obtener las imágenes, tanto estelares como de respuesta del detector, debe tenerse en cuenta la respuesta de la cámara a la iluminación incidente y trabajar en la zona en la que ésta es lineal, la cual no tiene porque cubrir todo el rango disponible. Para cada cámara es conveniente averiguar su respuesta, proveyéndose de una iluminación homogénea y variando el tiempo de exposición. Los dos gráficos de la figura 7 corresponden a las pruebas realizadas con una cámara Starlight MX-516 y una SBIG ST6. La primera muestra un rango de linealidad más extenso que la segunda. Es importante que la opción «anti-blooming» haya sido desactivada.