

## Calibrar, alinear y promediar imágenes CCD

Antonio Fraga

15 de Octubre de 2005

### 1. Introducción.

Las imágenes tomadas con dispositivos ccd de aficionado ofrecen, a precios asequibles, resultados semejantes a dispositivos mucho más caros siempre que conozcamos sus limitaciones y aprendamos a corregirlas. Una simple webcam ccd puede usarse tal como viene de fábrica para captar objetos brillantes, como el Sol, la Luna, Venus, Marte, Júpiter o Saturno. Para captar objetos que requieren más tiempo de exposición, existen diseños para modificar la electrónica de estas “pequeñas” que nos acercan a los objetos de cielo profundo, a un precio extra ridículo. Estas cámaras ya modificadas, se ofrecen en el mercado a un precio un poco mayor para los que no nos atrevemos o no tenemos tiempo para embarcarnos en la aventura de modificarlas. En cualquier caso para sacar el mayor partido a esta tecnología, necesitamos realizar algunas correcciones; estas correcciones se pueden hacer sin conocer realmente la base teórica que hay detrás, pero si entendemos lo que estamos haciendo, podemos adaptarnos mejor a distintas situaciones.

Cuando terminamos una sesión de astronomía amateur, terminamos normalmente con un montón de videos de los objetos de nuestra paciencia y estamos expectantes al resultado que obtendremos. Una parte importante de ese resultado dependerá de nuestra paciencia a la hora de alinear la montura, de nuestra técnica de enfoque, del seguimiento... en definitiva del uso de todo nuestro aparataje astronómico. Otra parte importante de la operación es la elección de los parámetros de captura. La siguiente fase consiste en obtener una única imagen a partir de varios videos o imágenes sueltas, para ello debemos calibrar las imágenes individuales, alinearlas entre si y finalmente promediarlas mediante algún método.

Por último, si la imagen resultado en el paso anterior es satisfactoria, podemos aplicarles distintos procesos para sacarles todo el partido posible: modificación del histograma y equilibrio de color. Para aquellos que esperan obtener una imagen con el mayor rigor científico, lo mejor es quedarse aquí. Para los que quieran obtener una imagen con valor estético todavía quedan algunos procesos más elaborados como corrección filtros de enfoque, desenfoque selectivo, filtros bilateral o trilateral, etc.

Este artículo sólo trata de la preparación de la imagen “bruta”, resultado de calibrar, alinear y promediar nuestras tomas iniciales. En este orden.

### 2. Calibrar: modelo teórico.

Normalmente disponemos de uno o varios videos del objeto, una o varias tomas “dark” y en el mejor de los casos varias tomas “flat”, “dark-flat” o “bias”. Para obtener el mejor resultado posible debemos disponer como mínimo de tomas “dark”, “flat” y “dark-flat”, también es posible obtener el mismo resultado si disponemos de tomas “dark”, “flat” y “bias”, como se verá. Se puede obtener un resultado aceptable simplemente con tomas “dark”, pero entonces el patrón de iluminación de la imagen obtenida no es homogénea. Cualquier programa especializado en calibración podrá operar con estas imágenes y te dará el mejor resultado... ¿pero porqué todo esto?

Para tener información más extensa sobre la calibración de imágenes, es recomendable consultar la bibliografía. En bib.[2] encontraremos una justificación matemática con una formulación más formal que la aquí expuesta. Otra fuente de información sobre el modelo teórico de una imagen CCD lo podemos encontrar en bib.[3].

En la nomenclatura utilizada a continuación, se expresará en mayúsculas una matriz de dimensiones  $(i, j)$ , los valores constantes y variables se expresarán en minúsculas.

#### 2.1 Modelo de una imagen ccd

La imagen que obtenemos ( $I$ ) de una cámara ccd, es el resultado de algunos factores:

En el momento de la lectura, con objeto de evitar que el ruido de lectura introduzca valores negativos en zonas de baja intensidad, la electrónica de la cámara introduce un cierto valor ( $b$ )

a la imagen, llamado también "nivel Cero". A este efecto se le llama *corriente de polarización* y podemos expresarla por:

$$I = b + \dots \quad (1)$$

También como factor aditivo tenemos la *corriente de oscuridad (Dark Current)*, este efecto es debido a lecturas no deseadas producidas por agitaciones térmicas que dependen del tiempo de exposición ( $D \cdot t$ ).

$$I = b + D \cdot t + \dots \quad (2)$$

Afortunadamente ;) también tenemos información del propio objeto de la toma ( $O$ ). En un sistema electrónico ideal, la intensidad de este objeto en la toma sólo depende del tiempo de exposición ( $O \cdot t$ ), pero la realidad es que cada pixel de la trama del CCD tiene un comportamiento diferente que modelaremos como una matriz con factores ( $F$ ) de respuesta de cada pixel. Esto lo podemos modelar:

$$I = b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + \dots \quad (3)$$

Por último tenemos también la contribución del ruido ( $R$ ) que es de naturaleza aleatoria y también aditivo:

$$I = b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + R \quad (4)$$

Eso vale para cualquier imagen que tomemos con un tiempo de exposición  $t$ .

¿Qué es calibrar?, pues es tratar de estimar  $b$ ,  $D$ ,  $F$  y minimizar  $R$ , de tal modo que obtengamos una imagen que responde a:

$$I = O \cdot t + R_r \quad (5)$$

, donde desearíamos que el ruido  $R_r$  sea lo más pequeño posible.

## 2.2 Tomas BIAS

Sabemos que el modelo (4) expresa cualquier imagen obtenida mediante nuestra CCD. Imaginemos que tapamos el telescopio y obtenemos una imagen con el mínimo tiempo de exposición posible, idealmente  $t = 0$ . Entonces el factor  $D \cdot t$  introducido por (3) que depende del tiempo, sería despreciable y  $F \cdot O \cdot t$  introducido por (4) que depende del tiempo y de  $O$ , quedaría anulado, obteniendo así

$$BIAS = b + R \quad (6)$$

Como vemos BIAS contiene ruido además de la información de la corriente de polarización. Una buena solución para minimizar este ruido es aprovecharnos de que éste es de naturaleza aleatoria: si tomamos varias tomas BIAS y las promediamos, es muy poco probable que el ruido se distribuya en los mismos pixels de cada imagen, de modo al promediar aumentaremos la relación señal/ruido a razón de  $\sqrt{n}$ , donde  $n$  es el número de imágenes a promediar. Esto también ocurre si sumamos dichas imágenes, pero entonces también estamos sumando los valores de polarización y no se trata de eso.

Digamos entonces que, después de promediar unas cuantas tomas BIAS tenemos una imagen Master Bias (MBIAS) que responderá a la fórmula:

$$MBIAS = b + R_b \quad (7)$$

, donde  $R_b$  es el ruido resultado del proceso.

### 2.3 Tomas Dark

Se trata de obtener una imagen que contrarreste la aportación de la corriente de oscuridad (2), entonces debemos tener en cuenta que las tomas Dark deben tener el mismo tiempo de exposición que el de la toma de la imagen en si. Como en las tomas BIAS, se obtendrán con el objetivo de la cámara o con el telescopio tapados, de modo que la aportación  $F \cdot O \cdot t$  queda anulada. Teniendo todo esto en cuenta, cada toma dark individual queda modelada:

$$DARK = b + D \cdot t + R \quad (8)$$

Además hay que tener en cuenta que la corriente de oscuridad depende tanto del tiempo de exposición como de la temperatura, así que lo ideal sería tomar varias imágenes antes y después de la toma principal, de modo que al promediar, además de minimizar el factor aleatorio del ruido, nos acercaremos más a las condiciones en que tomamos la imagen principal. De este modo tenemos el llamado "Master Dark" (MDARK) como resultado de promediar todas las tomas dark, que responde a la formula:

$$MDARK = b + D \cdot t + R_d \quad (9)$$

, donde  $R_d$  es el ruido resultado de todo el proceso.

### 2.4 Tomas Flat-Field

Como vimos en (3), la respuesta de cada pixel del ccd no es homogénea sino que está representada por la matriz  $F$ . Para estimar este valor, lo ideal es obtener una imagen uniformemente iluminada en cada pixel y con un perfil espectral idéntico al de la imagen que tratamos de calibrar. Esto es en la práctica imposible y lo que se suele hacer es o bien obtener una imagen apuntando al cielo del anochecer o/y amanecer, o apuntando a una pantalla blanca uniformemente iluminada por luz artificial. Las imágenes flat corrigen efectos como el viñeteo o los famosos "donuts" debidos a las motas de polvo en el chip o en la óptica del telescopio.

El tiempo de exposición de estas tomas no tiene por qué ser el mismo del de nuestra toma principal. En realidad se trataría de obtener una imagen con un número de cuentas que se acerque a la mitad del rango dinámico de la cámara y para eso hay que hacer algunas pruebas con el tiempo de exposición. La parte "buena" ;) es que mientras las motas de polvo no cambien de sitio (en todos los elementos de la óptica), las tomas flat nos servirán por un buen periodo de tiempo.

Teniendo todo esto en cuenta y haciendo uso de la formulación, tenemos que:

$$MFLAT = b + D \cdot t_f + F \cdot l \cdot t_f + R_f \quad (10)$$

, donde  $t_f$  es el tiempo de exposición de la toma flat,  $R_f$  es el ruido de esta toma y  $l$  representa el brillo del cielo (o de la cúpula u otro ingenio), igual para cada pixel.

### 2.5 Tomas Dark-Flat

Vemos que las tomas flat introducen un factor de corriente de oscuridad  $D \cdot t_f$  distinto del de la toma principal. Sin embargo, como los tiempos  $t_f$  y  $t$  son conocidos, podemos actuar sobre Master Dark que obtuvimos en (9) para adecuarlo a la toma flat (ver bib.[2]). Aquí abordaremos el problema suponiendo que disponemos de una corrección específica de la corriente de oscuridad de las tomas flat. Esta tomas dark específicas se toman y calculan igual que las tomas dark, sólo que el tiempo de exposición y condiciones de temperatura deben ser del orden del de las tomas flat. Así:

$$MDFLAT = b + D \cdot t_f + R_{df} \quad (11)$$

## 2.6 El Master Flat Normalizado

Todavía nos falta hacer una consideración más. Los factores aditivos de corriente de oscuridad y de polarización, se contrarrestarán restando el Master Dark, como se verá; el factor aditivo del ruido quedará minimizado, como vimos, al promediar. Sin embargo para contrarrestar el factor proporcional  $F$ , aún debemos hacer algo con la toma Master Flat.

Si restamos el Master Dark-Flat (MDFLAT) al Master Flat (MFLAT), vemos que eliminamos de éste los efectos de su propia corriente de oscuridad ( $D \cdot t_f$ ) y el factor de corriente de polarización ( $B$ ):

$$\begin{aligned} MF &= MFLAT - MDFLAT = (b + D \cdot t_f + F \cdot l \cdot t_f + R_f) - (b + D \cdot t_f + R_{df}) \\ &= F \cdot l \cdot t_f + R_{mf} \end{aligned} \quad (12)$$

, donde  $R_{mf} = (R_f + R_{df})$

Si calculamos el valor promedio de los pixels de (12), tenemos:

$$\overline{MF} = \overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}} \quad (13)$$

Entonces obtenemos el Master Flat Normalizado de la siguiente manera:

$$MFN = \frac{MF}{\overline{MF}} = \frac{F \cdot l \cdot t_f + R_{mf}}{\overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}}} = \frac{F \cdot l \cdot t_f}{\overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}}} + \frac{R_{mf}}{\overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}}} \quad (14)$$

En este punto podemos hacer algunas consideraciones. Por una parte podemos considerar que el término  $\overline{R_{mf}}$  es lo suficientemente pequeño frente a  $F \cdot l \cdot t_f$ , como para no tenerlo en cuenta, de modo que:

$$MFN \cong \frac{F \cdot l \cdot t_f}{\overline{F \cdot l \cdot t_f}} + \frac{R_{mf}}{\overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}}} = \frac{F}{F} + \frac{R_{mf}}{\overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}}} \quad (15)$$

y por otra parte también podemos, al ser  $\frac{F}{F}$  mucho mayor que  $\frac{R_{mf}}{\overline{F \cdot l \cdot t_f} + \overline{R_{mf}}}$ , despreciar

este último término y considerar finalmente que:  $MFN \cong \frac{F}{F}$  (16)

## 2.7 Resultado

Con todas las tomas anteriores, existen algunos métodos para calibrar cada imagen individual; una fórmula que responde bien al resultado esperado es:

$$IC = \frac{IO - MDARK}{MFN} \quad (17)$$

, donde  $IC$  es la imagen calibrada e  $IO$  una de las imágenes obtenidas. Veamos por qué:

$IO$ , responde, como siempre, a (4), es decir:

$$IO = b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + R \quad (18)$$

,de modo que, sustituyendo en (17) tenemos:

$$IC = \frac{IO - MDARK}{MFN} = \frac{b + D \cdot t + R + F \cdot O \cdot t - b - D \cdot t - R_d}{\frac{F}{\overline{F}}} = \frac{F \cdot O \cdot t + (R - R_d)}{\overline{F}} \quad (19)$$

,es decir:

$$IC = \overline{F} \cdot O \cdot t + R_c \quad (20)$$

, donde  $R_c = \frac{\overline{F}(R - R_d)}{F}$  es el ruido resultado de todas las operaciones.

Recordemos que queríamos obtener (5) mientras que mediante la calibración propuesta hemos obtenido que  $O \cdot t$  está multiplicada por el factor  $\overline{F}$ .

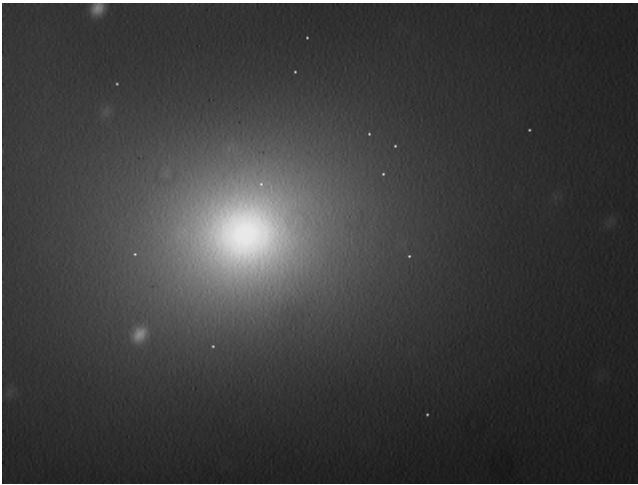


Fig 1. Un fotograma individual de M31 tomado con la Atik 2HS. Se puede observar pixels calientes y marcas tipo "donuts" debidas a polvo en la óptica.

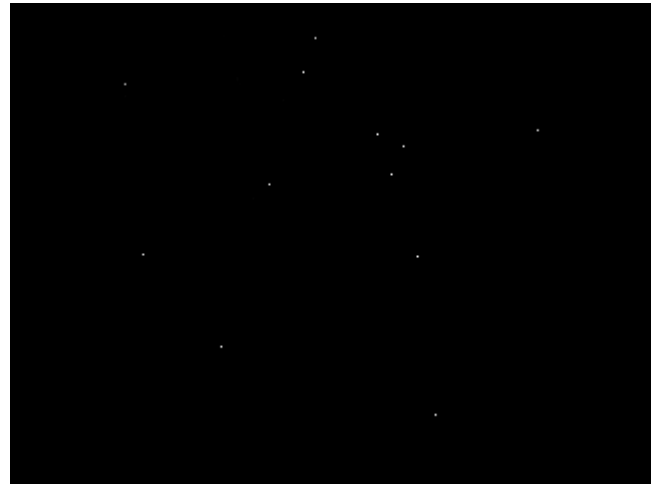


Fig 2. Toma dark. Obsérvese los pixels calientes.

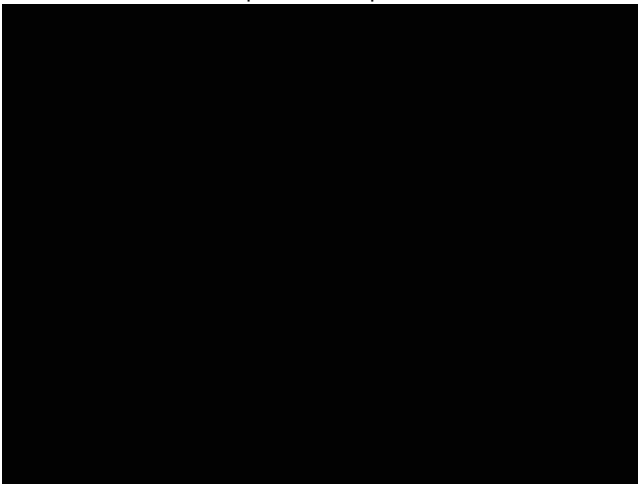


Fig 3. Toma Bias.

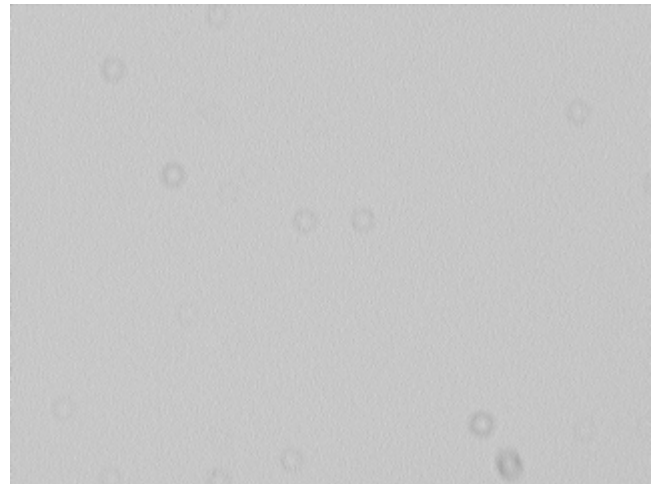


Fig 4. Toma flat. Son evidentes las manchas de polvo.

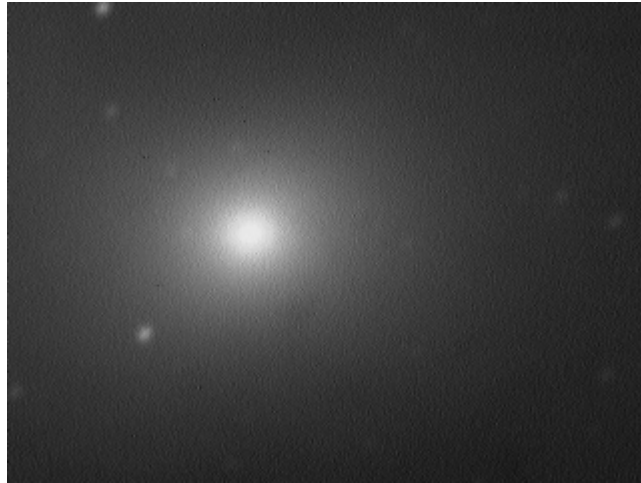


Fig 5. Imagen individual calibrada.  
Los "donuts" y los pixels calientes han desaparecido.

Finalmente, cada toma *IC* se alinea mediante alguno de los métodos disponibles y se promedian (o se calcula su mediana o suma), aumentando así la relación final de señal/ruido del resultado final.

### 2.8 ¿Qué ocurre si... sólo dispongo de tomas dark?

¿Qué ocurre si no disponemos de todas las tomas necesarias para calibrar? ¿Qué podemos esperar del resultado? Pueden existir muchas situaciones pero podemos imaginarnos algunas y aplicar la formulación proporcionada para evaluar el resultado de una operación determinada. Aquí sólo veremos qué ocurre si sólo disponemos de tomas dark; ustedes pueden hacer sus propias combinaciones y sacar sus propias conclusiones.

En este caso, lo único que podemos hacer es calcular el Master Dark (9) y restarlo de las tomas individuales (4), pero ¿vale la pena? Veámoslo:

$$I - MDARK = (b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + R) - (b + D \cdot t + R_d) = F \cdot O \cdot t + R_r$$

, donde  $R_r = (R + R_d)$ .

No está mal, hemos contrarrestado el efecto de polarización y el de la corriente de oscuridad en un único paso. Aplicando un "flat artificial" mediante algunos de los métodos existentes, nos ayudará a corregir algo el patrón de iluminación debido a las diferentes sensibilidades de cada pixel del ccd ( $F$ ). Contrarrestar las motas de polvo de la óptica ya es otra cosa. Otra solución es no perder de vista las imágenes individuales y hacer una toma flat más adelante... mientras las motas de polvo no cambien mucho...



Fig 6. Resultado de sólo restarle el dark de la fig.2 a la fig.1

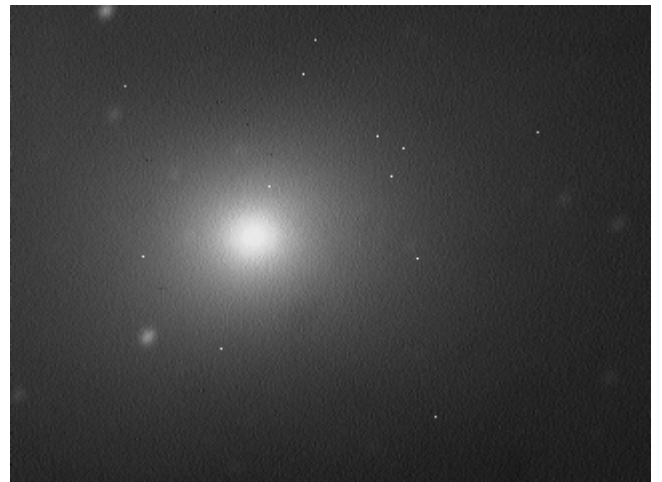


Fig 6. Resultado de sólo dividir el flat normalizado de la fig.4 a la fig.1

## 2.9 Master Dark Escalares.

¿Y para qué las tomas Bias?. Bueno, pues sí que sirven, como veremos ahora. Vimos que para contrarrestar el efecto de corrientes de polarización y de oscuridad, restábamos a los fotogramas y a las tomas flat sus propios Master Dark, con tiempos de exposición iguales en cada caso. Es posible utilizar un solo Master Dark para ambos, siempre que dispongamos de una toma Bias, o mejor de varias promediadas como en (7). Podemos encontrar plena justificación de esto en bib.[2] y en bib.[3], aquí lo abordaremos desde otro punto de vista y mucho más someramente:

Supongamos que los tiempos de exposición de las imágenes ( $t$ ), de las tomas dark ( $t_d$ ) y flat ( $t_f$ ) son distintos, entonces no podemos actuar como en (12) y siguientes, pero podemos preparar un Dark escalándolo adecuadamente para cada fotograma y para cada toma flat de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 MDARK(t) &= (MDARK(t_d) - MBIAS) \cdot \frac{t}{t_d} + MBIAS \\
 &= ((b + D \cdot t_d + R_d) - (b + R_b)) \cdot \frac{t}{t_d} + b + R_b \\
 &= (D \cdot t_d + R_d - R_b) \cdot \frac{t}{t_d} + b + R_b = b + D \cdot t + R_{di}
 \end{aligned} \tag{21}$$

, donde  $R_{di} = (R_d - R_b) \cdot \frac{t}{t_d} + R_b$ , es el ruido resultante. Y:

$$\begin{aligned}
 MDARK(t_f) &= (MDARK(t_d) - MBIAS) \cdot \frac{t_f}{t_d} + MBIAS \\
 &= ((b + D \cdot t_d + R_d) - (b + R_b)) \cdot \frac{t_f}{t_d} + b + R_b \\
 &= (D \cdot t_d + R_d - R_b) \cdot \frac{t_f}{t_d} + b + R_b = b + D \cdot t_f + R_{df}
 \end{aligned} \tag{22}$$

, donde  $R_{df} = (R_d - R_b) \cdot \frac{t_f}{t_d} + R_b$ , es el ruido resultante.

Con estos Master Dark escalados podemos actuar como se propuso en 2.6 y 2.7 y obtener resultados similares.

Cabe destacar que normalmente el tiempo  $t_f$  es muy pequeño comparado con  $t$ . Si  $t_d$  es del orden de  $t$  entonces el ruido  $R_{di}$  y  $R_{df}$  se mantienen dentro de lo aceptable, pero si  $t_d$  es mucho más pequeño que  $t$ , entonces podemos estar aumentando demasiado el ruido  $R_{di}$ .


Aunque el ruido de adquisición queda minimizado al promediar (o al calcular la mediana o al sumar), como resultado de todas las operaciones del calibrado se ha introducido otro tipo de ruido. Conviene saberlo y tenerlo en cuenta. Por ejemplo, al escalar darks es conveniente hacerlo a tiempos menores, es decir: conviene que las tomas dark sean del orden del tiempo que las propias imágenes. Escalar darks a tiempos mayores puede dar lugar a crear extraños artefactos alrededor los pixels calientes existentes y/o añadir pixels brillantes donde no los había. Por ello, algunos autores, recomiendan usar dark específicos para el flat (los dark-flat) y no usar bias a no ser que sea necesario. Lo mejor: experimentar.

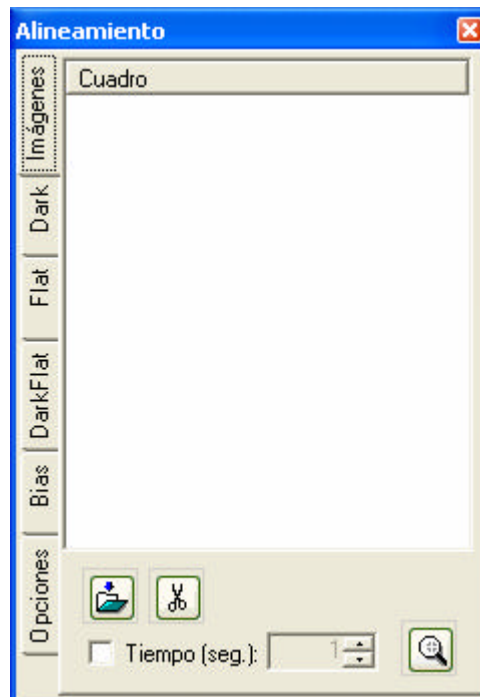
### 3. Calibrado, alineamiento y promediado con CCDCat.

CCDCat calibra según el método expuesto. Si se conocen los tiempos de exposición y se dispone de varias tomas dark, flat y bias, calibra según el método planteado en 2.9. Si sólo se disponen de tomas dark, éstos se restan de cada fotograma (se puede desactivar esta opción) y lo mismo si sólo se dispone de tomas flat. Si no se dispone de bias pero sí de tomas dark, flat dark-flat, se actúa como en 2.7.

Una vez calibrados los fotogramas individuales, el programa ofrece tres métodos de alineación: por rotación/alineación de dos estrellas que se pueden elegir automática o manualmente, o por correlación que sólo alinea (no rota). El algoritmo de selección automática es una aproximación al problema y pueden existir muchas situaciones en las que no funcione como se espera. Cuando usamos el algoritmo de alineación/rotación por selección automática de dos estrellas, es aconsejable situarse en el primer fotograma como fotograma de inicio, pues marca una pauta de rotación homogénea en los subsiguientes fotogramas.


El programa no admite formatos de video, para poder procesarlos es necesario obtener previamente los fotogramas que lo componen con programas como TMPGEnc, que es gratuito.

Para calibrar usamos la opción "Archivo" y luego "Calibrar" o pulsamos el botón  de la barra de herramientas. Aparecerá la siguiente pantalla:

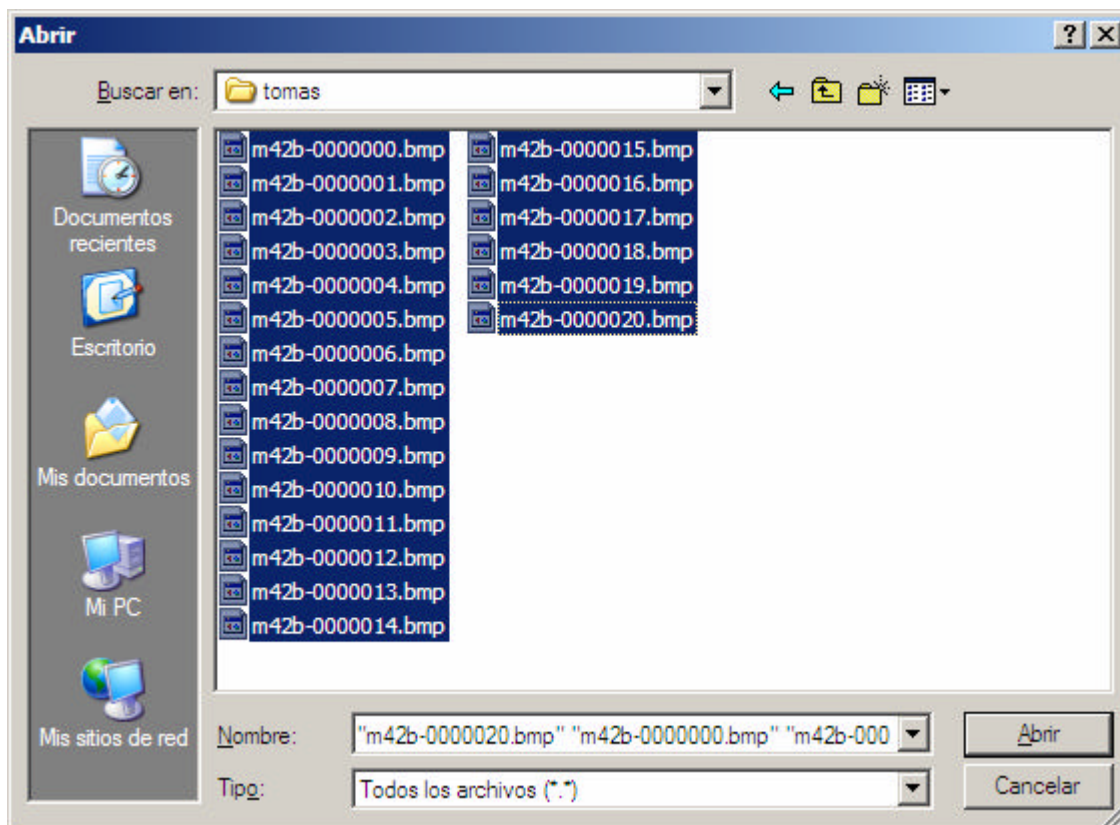


En esta pantalla tenemos seis pestañas a la izquierda en dirección vertical, denominadas: "Imágenes", "Dark", "Flat", "DarkFlat", "Bias" y "Opciones".

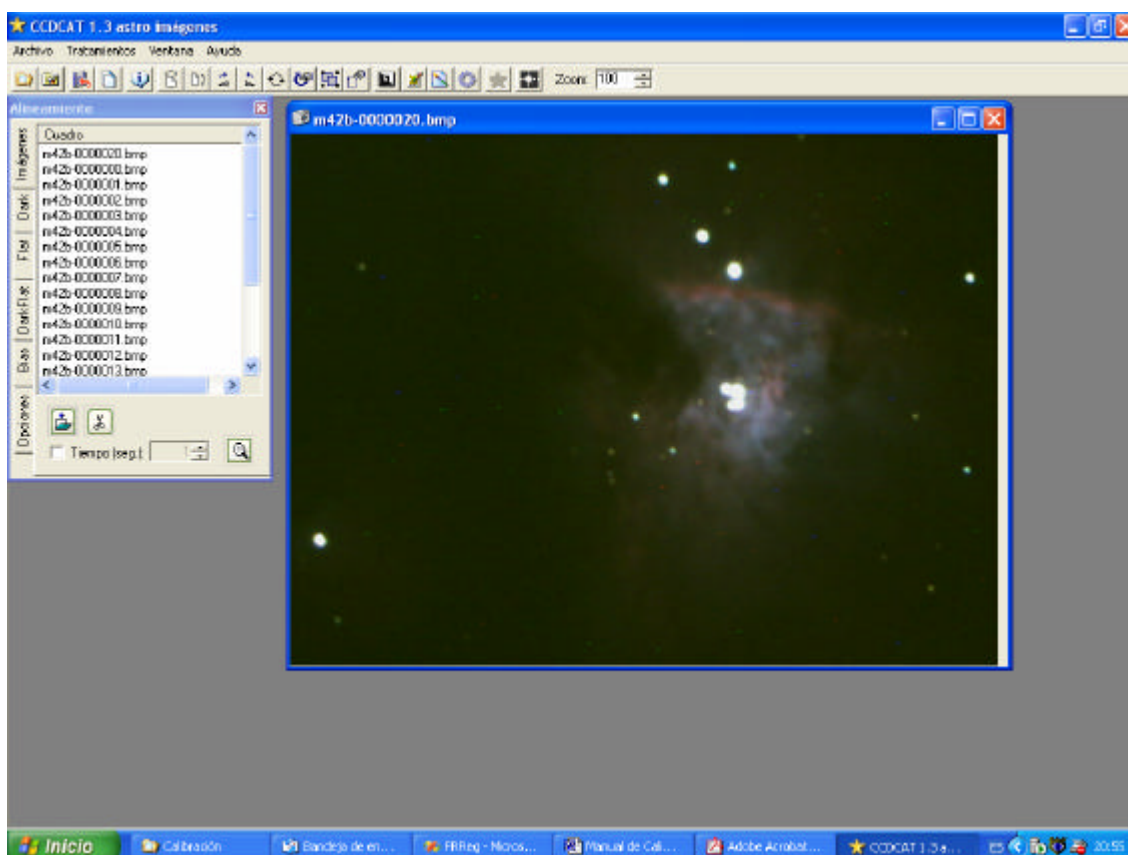
#### 3.1 Selección de imágenes

Pulsando sobre el botón  añadiremos las imágenes a calibrar, abriendo la ventana de diálogo de windows. Esta ventana permite multiselección: manteniendo la tecla <Control> pulsada, hacer "click" en cada uno de los archivos de imagen; otra manera de hacer una multiselección pulsar en el primer archivo y luego, manteniendo la tecla <Shift> (la tecla que está encima de <Control>) pulsar en el último archivo, se seleccionaran todos los archivos del rango entre el primero y el último.





Los archivos elegidos aparecerán en la lista de archivos. Pulsando sobre cada uno de ellos, el programa mostrará la imagen elegida.



M42: Francisco Moreno

Si pulsamos el botón , o la tecla <Suprimir>, eliminaremos el fotograma de la lista.

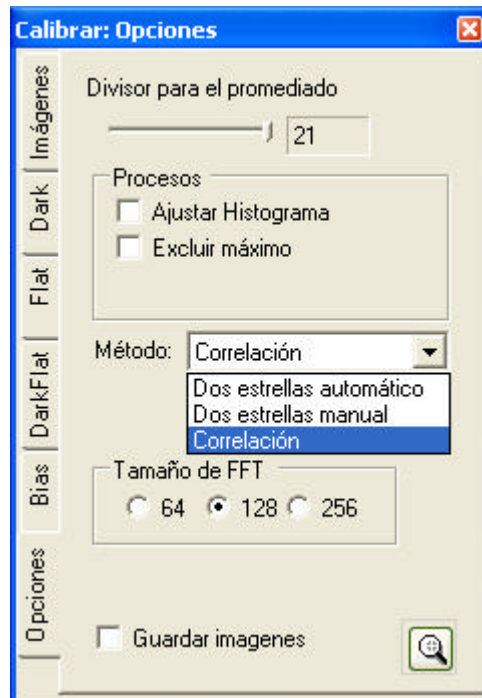
Si disponemos de tomas dark, flat, dark-flat o bias, podemos añadirlas de la misma manera seleccionando previamente la pestaña adecuada. El programa calibrará eligiendo el método más adecuado dependiendo de las tomas que disponga. Si sólo disponemos de tomas Dark, sólo se restará esta de cada imagen; si disponemos de dark y flat, usará éstos para calibrar. Pero como vimos, el resultado más óptimo lo obtendremos aportando tomas dark, flat y dark-flat, o dark, flat y bias. En estos casos aseguramos la perfecta calibración.

### 3.2 Alineando

Si hay estrellas visibles en las tomas, lo ideal es alinear por el método de dos estrellas (manual o automático), pues incluso en una montura ecuatorial, si la puesta en estación no es muy buena, podemos encontrar el efecto de la rotación e campo. Para obtener el mejor resultado hay que hacer algunas consideraciones: Es deseable que las estrellas elegidas estén lo suficientemente separadas entre sí, con objeto de minimizar el error de cálculo de la pendiente de la recta que las une, que será la base de cálculo de las rotaciones; por otra parte, si la selección de las estrellas es manual, hay que verificar primero que las estrellas elegidas estarán visibles en todos los fotogramas.

Para elegir el método de alineación vamos a la pestaña "Opciones". Podemos elegir entre "Dos estrellas automático", "dos estrellas manual" y "Correlación".

Es aconsejable probar primero con la alineación automática por dos estrellas y, si no funciona, entonces podemos hacerlo manualmente.




Cuando elegimos el método "Dos estrellas automático", tenemos una serie de opciones disponibles:

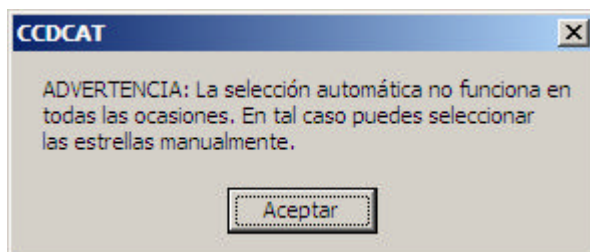
- "Índice de tolerancia": Es el índice que restado de 255 nos da el valor bajo el cual no se considerará estrella una zona iluminada:
- "Distancia máxima del borde": Distancia máxima del borde a partir de la cual se rechaza una posible estrella. Esto es así para prevenir que esta estrella pueda no estar en alguno de los siguientes fotogramas, debido a la rotación de campo o a un seguimiento no del todo perfecto.
- "Radio máximo de estrella": Radio máximo para considerar un objeto como estrella. Este factor nos ayuda a rechazar zonas brillantes de nebulosas, por ejemplo.
- "Radio de inspección máximo": Radio de inspección máximo a partir del punto de inspección alrededor del cual se buscará el centroide de una estrella.

Si elegimos la opción "Dos estrellas manual", sólo se tendrán en cuenta el factor de "Radio de inspección máximo" y "Radio máximo de estrella".


La opción “guardar imágenes” es útil si queremos alinear las imágenes ya calibradas y rotadas con otro programa. Si se activa se creará una carpeta llamada “out” dentro la carpeta donde se encuentra la imagen base.

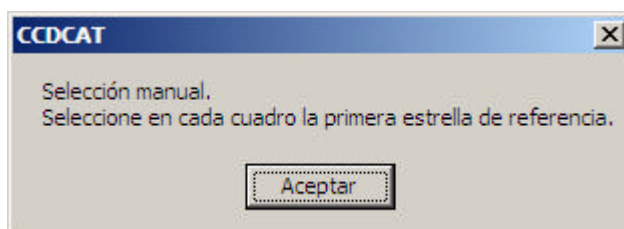
Una vez escogido el método de alineamiento, nos situemos en el fotograma inicial y pulsamos el botón .

Si hemos elegimos “Dos estrellas automático”, se nos presentará el siguiente mensaje:

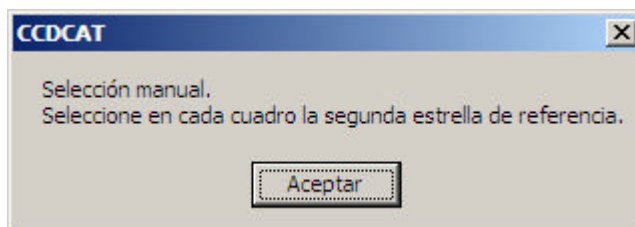


Pulsamos el botón “Aceptar” y el programa tratará de encontrar las (mismas) dos estrellas de cada fotograma para calcular la rotación y traslación de cada fotograma. Tal como está diseñado el algoritmo, el mejor resultado se obtiene si elegimos el primer fotograma como fotograma de inicio para alinear.

En el caso de que el algoritmo anterior falle, podemos elegir la opción “Dos estrellas manual”. De nuevo, nos situamos en el fotograma inicial que deseemos y pulsamos el botón de alineamiento . El programa nos muestra el mensaje:




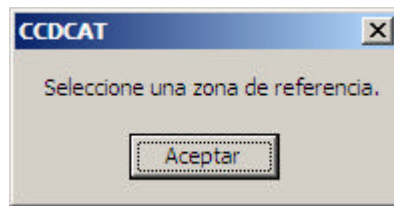
,y espera a que hagamos click con el ratón en una zona cercana a la primera estrella. El programa calculará el centroide más cercano al lugar pulsado y mostrará el siguiente fotograma, a la espera de que hagamos nuevamente click sobre la zona donde está la misma estrella. No es necesario hacer click exactamente en el centro de la estrella, el programa calculará el centroide más cercano al lugar donde pulsamos, pero es conveniente verificar que no existe otra estrella lo suficientemente cerca como para confundir al sistema. Así hasta el último fotograma y entonces se nos avisará con el mensaje:



Se repite el proceso hasta elegir la segunda estrella del último fotograma. A partir de ahí el programa calibra, rota y traslada cada fotograma para hacerlo coincidir con el primero y los promedia.

Por último, podemos también promediar por el método de correlación. En la pestaña de opciones podemos entonces elegir entre tres tamaños distintos de ventana: 61, 128 y 512 pixels. Con tamaños de ventana mayores, menor será la probabilidad de que el objeto elegido del primer fotograma salga fuera de dicha ventana en los subsiguientes fotogramas, pero también hará más lento el cálculo. Por defecto este valor está fijado en 128 pixels. El algoritmo

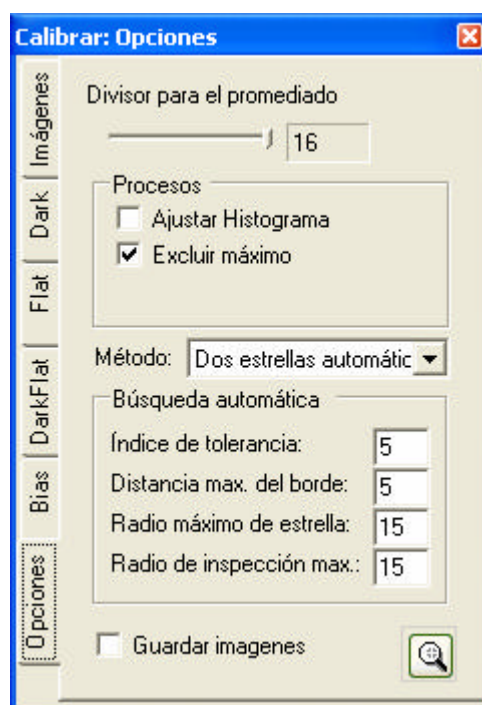
para correlacionar es muy simple y el programa no busca fuera de esta ventana en casos de que el índice de similitud sea muy bajo, lo cual puede llevar también a errores de alineamiento. Es deseable elegir una zona que contenga un objeto suficientemente contrastado frente al fondo. Para ello, después de elegir este método, nos situamos en el primer fotograma y pulsamos sobre el botón ; el programa mostrará el mensaje:



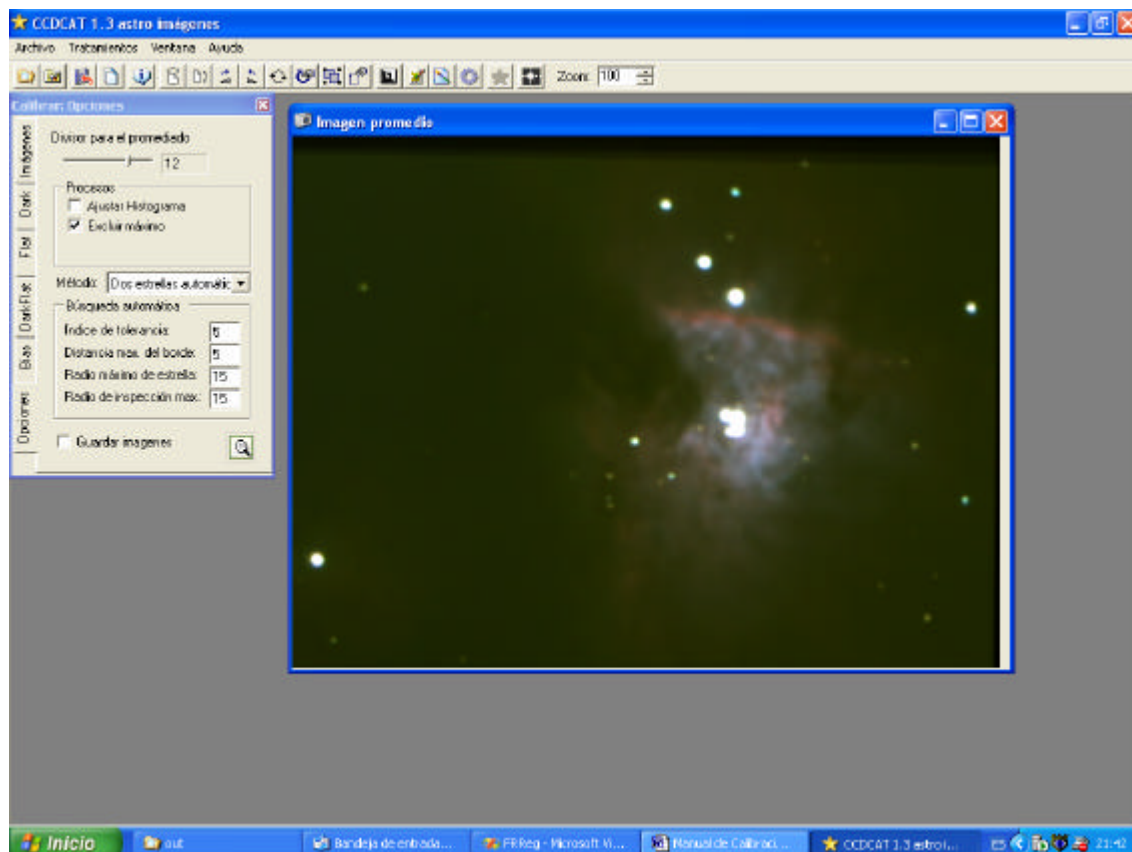
Pulsamos “Aceptar” y luego llevamos el cursor del ratón sobre una zona contrastada de la imagen y hacemos click. Igualmente, después de calibrar cada imagen, las alinea y promedia.

Una vez terminado el proceso, podemos todavía modificar el resultado. Por defecto el programa promedia todos los fotogramas, pero esto lo hace porque el valor del factor “Divisor para el promedio” tiene el valor del número de fotogramas elegidos. En algunas ocasiones, en nivel de iluminación del objeto no es suficiente e interesa más sumar que promediar los fotogramas. En ambos casos la relación señal/ruido se ve incrementada por  $\sqrt{n}$ . Si el factor de división es  $n$  (el número de fotogramas), que es lo que vale por defecto, actúa el promedio; si el factor es 1, entonces se calculará la suma, pero se pueden elegir valores intermedios y el efecto es una imagen más luminosa cuanto menor es este factor.

Este efecto no será apreciable si se activa la opción “Ajustar Histograma”, pues el resultado de esta operación lleva el histograma de cualquier factor a un rango de histograma homogéneo.



La opción Excluir máximo es en ocasiones muy útil, sobre todo si no disponemos de tomas dark. El programa excluirá el valor máximo de los mismos pixels de cada fotograma del promedio final. En casos de seguimiento mediocre (en casi todos los que no disponemos de una guía automática) y si no disponemos de tomas dark, después de alinear, los pixels calientes (y los efectos de los rayos cósmicos) quedan en lugares distintos y es muy probable que en el conjunto de los pixels localizados en la misma posición de cada fotograma exista sólo uno (o ninguno). De este modo evitamos que entre en juego en el promedio. Esta opción debe estar activa (o inactiva) antes de alinear, para tenerla o no en cuenta.



M42: Francisco Moreno

Esta imagen podemos guardarla, para tratarla posteriormente.



Resultado de alinear sin calibrar un video tomado con montura azimutal usando el método de correlación.  
M27: Francisco Moreno



Resultado alinear sin calibrar un video tomado con montura azimutal usando el método de dos estrellas.  
M27: Francisco Moreno

### **Bibliografía**

- [1] “Manual Práctico de Astronomía con CCD”, Ed. Omega 1998, David Galadí-Enriquez, Ignasi Ribas Canudas.
- [2] “Tratamiento de Imágenes CCD Astronómicas” José Luis Doreste Caballero de la Agrupación Astronómica de Gran Canaria (A.A.G.C.), disponible on-line en:  
[http://aagc.dis.ulpgc.es/observatorio\\_astronomico\\_aagc/articulos/procesado\\_ccd.pdf](http://aagc.dis.ulpgc.es/observatorio_astronomico_aagc/articulos/procesado_ccd.pdf)
- [3] “GCX User's Manual” en particular el capítulo “CCD Reduction” disponible on-line en:  
<http://astro.cornell.edu/gcx/html/node7.html>.
- [4] “Astrofotografía CCD. La toma de imágenes y el procesado”, Revista Tribuna de Astronomía, nº70- abril 2005, Mikel Berrocal.