

Procesamiento Avanzado de Imágenes de Espacio Profundo

Asociación de Aficionados a la Astronomía
Mayo 2009

Tabla de contenido

1	Preprocesamiento.....	1
1.1	Calibración.....	1
1.1.1	Teoría.....	1
1.1.1.1	Modelo de una imagen ccd.....	1
1.1.1.2	Tomas BIAS.....	2
1.1.1.3	Tomas Dark.....	2
1.1.1.4	Tomas Flat-Field.....	3
1.1.1.5	Tomas Dark-Flat.....	3
1.1.1.6	El Master Flat Normalizado.....	3
1.1.1.7	Resultado.....	4
1.1.1.8	¿Qué ocurre si... sólo dispongo de tomas dark?.....	7
1.1.1.9	Master Dark Escalados.....	8
1.1.1.10	Master Dark en condiciones diferentes.....	9
1.1.2	Práctica.....	9
1.1.2.1	Píxeles calientes y píxeles fríos.....	10
1.2	Selección.....	10
1.3	Alineación.....	10
1.3.1	Rotación de campo.....	11
1.3.2	Selección de estrellas.....	11
1.3.3	Drizzle.....	11
1.4	Apilado.....	12
1.4.1	Promedio.....	12
1.4.2	Suma.....	12
1.4.3	Mediana.....	12
1.4.4	Recorte de Kapa-Sigma.....	12
1.4.5	Recorte Kapa-Sigma Mediana (SD Mask).....	12
1.4.6	Promedio Ponderado auto-adaptativo.....	12
1.4.7	Promedio Ponderado de Entropía.....	12
1.5	Combinación de canales.....	13
1.5.1	Ejemplo.....	15
1.6	Preprocesamiento con MaxIm DL.....	17
2	Postprocesamiento.....	24
2.1	Remoción de gradientes.....	24
2.2	Ajustes de aspecto.....	26
2.2.1	Ajuste lineal de histograma.....	26
2.2.2	Ajustes de color.....	27
2.2.3	Ajuste de gama.....	28
2.2.4	Ajustes con curvas.....	28
2.2.5	Proceso de Revelado Digital (DDP).....	29
2.2.5.1	Revelado Digital con MaxIm DL.....	30
2.3	Mejoras de apariencia.....	31
2.3.1	Herramientas de suavizado.....	31
2.3.2	Herramientas de enfoque.....	32
2.3.3	Deconvolución.....	32

2.4	Mosaicos	34
2.5	Otros programas.....	35
3	<i>Ejemplos</i>	36

Procesamiento Avanzado de Imágenes de Espacio Profundo

“Lo que digo no lo digo como hombre sabedor sino buscando junto con vosotros” Platón

Germán Bresciano (AAA)

<http://astrofotouruguay.blogspot.com>

1 Preprocesamiento

Son procesos tendientes a conseguir a partir de una serie de tomas del objetivo y otras tomas auxiliares, una única imagen que contenga la mayor cantidad de información posible del objetivo, contrarrestando lo más posible las imperfecciones del proceso de adquisición de las imágenes.

1.1 Calibración

1.1.1 Teoría¹

Normalmente disponemos de varias tomas del objeto, 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.

A continuación veremos en qué se basa todo esto?

En la nomenclatura utilizada a continuación, se expresará en mayúsculas una matriz² rectangular de datos de dimensiones que dependerán del formato del chip CCD, los valores constantes y variables se expresarán en minúsculas.

1.1.1.1 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* (*Bias Current*) y podemos expresarla por:

Ec. 1
$$I = b + \dots$$

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

Ec. 2
$$I = b + D \cdot t + \dots$$

¹ Adaptado de **Calibrar, alinear y promediar imágenes CCD** de Antonio Fraga (G.O.A.T.)

² Una “matriz” es un conjunto de números en un arreglo rectangular formando filas y columnas. La suma de dos matrices de igual tamaño es otra matriz que en cada posición contiene la suma de los valores de las primeras en la misma posición. El producto de una matriz por un factor numérico es otra matriz que en cada posición contiene el valor correspondiente a la misma posición de la matriz original multiplicado por el factor. El producto directo de dos matrices de igual tamaño es otra matriz que en cada posición contiene el producto de los valores de las primeras en la misma posición.

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 · 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:

Ec. 3
$$I = b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + \dots$$

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

Ec. 4
$$I = b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + R$$

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:

Ec. 5
$$I = O \cdot t + R_r$$

donde deseáramos que el ruido **R_r** sea lo más pequeño posible.

1.1.1.2 Tomas BIAS

Sabemos que el modelo (Ec. 4) expresa cualquier imagen obtenida mediante nuestro CCD.

Si tapamos el telescopio y obtenemos una imagen con el mínimo tiempo de exposición posible, idealmente **t = 0**. Entonces el factor **D · t** introducido por (Ec. 3) que depende del tiempo, sería despreciable y **F · O · t** introducido por (Ec. 4) que depende del tiempo y de **O**, quedaría anulado, obteniendo así:

Ec. 6
$$BIAS = b + R$$

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 pixeles 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:

Ec. 7
$$MBIAS = b + R_b$$

1.1.1.3 Tomas Dark

Se trata de obtener una imagen que contrarreste la aportación de la corriente de oscuridad (Ec. 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 el telescopio tapados, de modo que la aportación **F · O · t** queda anulada. Teniendo todo esto en cuenta, cada toma dark individual queda modelada:

Ec. 8
$$DARK = b + D \cdot t + R$$

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:

Ec. 9
$$MDARK = b + D \cdot t + R_d$$

donde R_d es el ruido resultado de todo el proceso.

1.1.1.4 Tomas Flat-Field

Como vimos en (Ec. 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 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, promediando varios cuadros para disminuir el ruido y haciendo uso de la formulación, tenemos que:

Ec. 10
$$MFLAT = b + D \cdot t_f + F \cdot I \cdot t_f + R_f$$

donde t_f es el tiempo de exposición de la toma flat, R_f es el ruido de esta toma y I representa el brillo del cielo (o de la pantalla que hayamos usado), igual para cada pixel.

1.1.1.5 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 (Ec. 9) para adecuarlo a la toma flat. 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:

Ec. 11
$$MDFLAT = b + D \cdot t_f + R_{df}$$

1.1.1.6 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):

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

donde³ $R_{mf} = (R_f - R_{df})$

Si calculamos el valor promedio de los pixeles de (Ec. 12), tenemos:

$$\text{Ec. 13 } \overline{MF} = \overline{F} \cdot l \cdot t_f + \overline{R_{mf}}$$

Entonces obtenemos el Master Flat Normalizado de la siguiente manera:

$$\text{Ec. 14 } MFN = \frac{MF}{\overline{MF}} = \frac{F \cdot l \cdot t_f + R_{mf}}{\overline{F} \cdot l \cdot t_f + \overline{R_{mf}}} = \frac{F \cdot l \cdot t_f}{\overline{F} \cdot l \cdot t_f + \overline{R_{mf}}} + \frac{R_{mf}}{\overline{F} \cdot l \cdot t_f + \overline{R_{mf}}}$$

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

$$\text{Ec. 15 } MFN \cong \frac{MF}{\overline{MF}} = \frac{F \cdot l \cdot t_f}{\overline{F} \cdot l \cdot t_f} + \frac{R_{mf}}{\overline{F} \cdot l \cdot t_f} = \frac{F}{\overline{F}} + \frac{R_{mf}}{\overline{F} \cdot l \cdot t_f}$$

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

despreciar este último término y considerar finalmente que:

$$\text{Ec. 16 } MFN \cong \frac{F}{\overline{F}}$$

1.1.1.7 Resultado

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

$$\text{Ec. 17 } IC = \frac{IO - MDARK}{MFN}$$

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

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

$$\text{Ec. 18 } IO = b + D \cdot t + F \cdot O \cdot t + R$$

³ Como los ruidos son aleatorios, su signo es desconocido en cada pixel, por lo que al restarlos el resultado puede ser de cualquier signo y en el peor de los casos su tamaño puede llegar a ser igual a la suma de los tamaños de ambos ruidos.

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

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

es decir:

$$\text{Ec. 20} \quad IC = \overline{F} \cdot O \cdot t + R_c$$

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

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



Figura 1-1 Un fotograma individual de M31. Se puede observar pixeles calientes y marcas tipo “donuts” debidas a polvo en la óptica



Figura 1-2 Obsérvese los pixeles calientes.



Figura 1-3 Toma Bias



Figura 1-4 Toma Flat. Son evidentes las manchas de polvo.



Figura 1-5 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.

1.1.1.8 ¿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 (Ec. 9) y restarlo de las tomas individuales (Ec. 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.



Figura 1-6 Resultado de restarle el dark de la Figura 1-2 a la Figura 1-1



Figura 1-7 . Resultado de dividir por el flat normalizado de la Figura 1-4 a la Figura 1-1

1.1.1.9 Master Dark Escalados

¿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 (Ec. 7). 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 (Ec. 12) y siguientes, pero podemos preparar un Dark escalándolo adecuadamente para cada fotograma y para cada toma flat de la siguiente manera:

$$MDARK(t) = (MDARK(t_d) - MBIAS) \cdot \frac{t}{t_d} + MBIAS =$$

$$\text{Ec. 21} \quad = ((b + D \cdot t_d + R_d) - (b + R_b)) \cdot \frac{t}{t_d} + b + R_b =$$

$$= (D \cdot t_d + R_d - R_b) \cdot \frac{t}{t_d} + b + R_b = b + D \cdot t + R_{di}$$

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

$$MDARK(t_f) = (MDARK(t_d) - MBIAS) \cdot \frac{t_f}{t_d} + MBIAS =$$

$$\text{Ec. 22} \quad = ((b + D \cdot t_d + R_d) - (b + R_b)) \cdot \frac{t_f}{t_d} + b + R_b =$$

$$= (D \cdot t_d + R_d - R_b) \cdot \frac{t_f}{t_d} + b + R_b = b + D \cdot t + R_{df}$$

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 1.1.1.6 y 1.1.1.7 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 o mayores al tiempo que las propias imágenes. Escalar darks a tiempos mayores puede dar lugar a crear extraños efectos 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.

1.1.1.10 Master Dark en condiciones diferentes

Cuando los cuadros oscuros no fueron tomados en idénticas condiciones de temperatura y regulación de cámara que los cuadros que se deben calibrar, el escalado exactamente proporcional al tiempo que se presenta en 1.1.1.9 no es adecuado, ya que el tiempo no es la única variable que cambió.

En estos casos, a falta de cuadros oscuros adecuados, puede hacerse un escalado similar al de Ec. 21 pero en lugar de usar como factor de escala el cociente de tiempos, éste factor se determina de modo de minimizar el ruido de fondo de la imagen calibrada.

1.1.2 Práctica

El ruido de una imagen calibrada, R_c en Ec. 20, depende tanto del ruido de la imagen del objeto como de la del cuadro oscuro maestro y en menor medida del ruido de cuadro plano maestro y del cuadro oscuro maestro correspondiente.

Si el seguimiento es tan bueno que no hubiera necesidad de alinear, al apilar los cuadros calibrados el ruido resultante sería el promedio de R_c , que dependería de la diferencia de promedio de R y R_d .

R_d es el ruido del cuadro oscuro maestro, que se obtuvo promediando una serie de cuadros oscuros y por tanto será inferior al ruido de cada cuadro oscuro individual.

El promedio de R será inferior al ruido de cada cuadro debido a la naturaleza aleatoria del ruido, que varía de cuadro en cuadro, pero el promedio de R_d es igual a R_d , ya que se usó el mismo cuadro oscuro maestro para calibrar todos los cuadros del objeto.

En otras palabras, el apilado disminuye la componente del ruido debida a la imagen pero no la debida al ruido del cuadro oscuro maestro (que ya se disminuyó al promediar los cuadros oscuros individuales).

Entonces en este caso es tan importante tomar muchos cuadros del objeto como muchos cuadros oscuros, pues ambos pesan lo mismo en el ruido final resultante.

En la práctica los cuadros deberán alinearse antes del apilado y por tanto al promediar las componentes de R_d no coincidirán en todos los cuadros y habrá una compensación parcial, por lo que el promedio de R_d será inferior a R_d , por tanto la importancia del ruido de cada cuadro oscuro en el resultado final será algo menor que el ruido de los cuadros del objeto.

Debido a esto no es necesario tomar tantos cuadros oscuros como del objeto, pero es bueno tomar una buena cantidad.

Yo suelo tomar al menos una cantidad igual a la mitad de la de cuadros del objeto.

La influencia del ruido de los cuadros planos y sus cuadros oscuros es menor, pues sólo afectan en proporción a su intensidad frente a la del cuadro plano normalizado. Por eso conviene que la intensidad de los cuadros planos sea la mayor posible siempre que se evite saturar los píxeles. Se recomienda que las intensidades obtenidas estén mayormente entre 1/3 y 2/3 del rango dinámico de la cámara.

Usualmente tomo algunas decena de cuadros planos y sus darks (esto es muy rápido pues suelen ser de tiempos de exposición corto).

Para evitar los posibles problemas mencionados en 1.1.1.9 siempre saco cuadros oscuros del mismo tiempo de exposición que las fotos, por lo que no es necesario tomar cuadros bias ni escalar los cuadros oscuros.

Los cuadros oscuros los saco al terminar una serie de fotos, con la misma regulación de cámara de la serie. Si no cambia mucho la temperatura durante la noche y si uso la misma regulación de cámara en varias series, uso los mismos cuadros oscuros para varias series.

También saco cuadros planos con sus correspondientes cuadros oscuros. Para ello utilizo una caja iluminada y saco una serie de cuadros con tiempo de exposición tal que las intensidades obtenidas estén entre $1/3$ y $1/2$ del rango de la cámara.

También se puede estirar una camiseta blanca en la boca del tubo e iluminarla desde cierta distancia para sacar los cuadros planos.

Los cuadros planos sirven para todas las series mientras no se cambie la óptica, enfoque ni la posición de la cámara.

DeepSpaceStacker y MaxIm DL permiten cargar series de cuadros planos (Flats) y sus correspondientes cuadros oscuros (Dark flats) así como cuadros bias, para incluirlos en la calibración.

1.1.2.1 Píxeles calientes y píxeles fríos

Debido a defectos de fabricación del sensor pueden haber los píxeles calientes aislados o en columnas completas. Sus valores de corriente oscura son muy altos, llegando inclusive a la saturación.

También puede haber píxeles fríos, con muy baja sensibilidad.

Debido a esto el rango dinámico disponible de estos píxeles se ve disminuido o anulado y no es suficiente con la calibración para recuperar la información de la imagen original.

Algunos programas pueden detectar estos píxeles y, luego de la calibración de cada cuadro, sustituirlos por el promedio de los píxeles cercanos, obteniendo así un valor probablemente más correcto y una imagen más suave.

1.2 Selección

Es importante seleccionar sólo los mejores cuadros antes de apilar, pues los cuadros movidos deforman las estrellas y hacen perder detalles finos en la imagen final y los cuadros con brillo de fondo disminuyen el contraste y generan fondos desparejos..

Algunos programas como MaxIm DL y DeepSpaceStacker miden ciertos parámetros de calidad de imagen como el Ancho Total a Mitad del Máximo (FWHM) y la redondez, que ayudan a ordenar y seleccionar los cuadros en función de su calidad.

Aún así es conveniente observar cada cuadro para descartar los malos.

Para ello, una vez calibrados, se ajusta el histograma de pantalla de modo que se puedan ver claramente las estrellas en cada cuadro y se observa la forma de las mismas para determinar si hay movimientos. También se observa el brillo de fondo para eliminar cuadros en los que la transparencia no era buena.

Los ajustes de histograma en los programas de astrofotografía usualmente sólo afectan el brillo y contraste con que se muestran las fotos en pantalla, pero no cambian la información de cada cuadro.

1.3 Alineación

Debido a los errores de seguimiento de la montura y errores de alineación, el objeto no permanece perfectamente quieto en una serie de imágenes, por lo que antes de apilar las imágenes deberán ser alineadas (o registradas) de forma que todas coincidan exactamente en la ubicación de las estrellas con uno de ellos que se toma como cuadro de referencia.

Los cuadros deben estar calibrados antes de la alineación.

La alineación se realiza en función de la posición de los centroides⁴ de una o más estrellas.

⁴ El centroide de una estrella se calcula a partir de las coordenadas de cada píxel ponderadas en función de la intensidad de luz del mismo. Es como el "centro de masa" de la imagen de la estrella.

La selección de las estrellas puede ser manual o automática, dependiendo del programa utilizado y su configuración.

1.3.1 Rotación de campo

La alineación sin rotación de campo es el método más sencillo, se basa simplemente en desplazar horizontal y verticalmente cada cuadro para que una estrella de referencia coincida en ambos cuadros. Es un proceso sencillo y rápido.

En caso de haber rotación de campo significativa, debida a mala alineación polar, al uso de monturas acimutales o de cuadros tomados en diferentes condiciones, se debe compensar esta rotación. Este proceso es más lento que la alineación sin rotación.

Si los píxeles del sensor no son cuadrados, esto debe compensarse mediante interpolación para obtener una imagen en la que los píxeles sean cuadrados antes de la alineación.

Algunos métodos utilizan más de dos estrellas, determinando una red de triángulos entre ellas. La imagen se divide de este modo en regiones alineando y escalando cada una de ellas para que coincida con la correspondiente en el cuadro de referencia. Esta transformación se hace mediante interpolaciones bilineales, bicuadráticas o bicúbicas. Esto puede corregir deformaciones de la imagen debidas al seeing atmosférico.

1.3.2 Selección de estrellas

Algunos programas seleccionan automáticamente la o las estrellas de referencia para alinear. Esto resulta cómodo cuando se deben alinear muchos cuadros, pero esta selección automática puede fallar en algunos casos.

Otros programas permiten la selección manual de estrellas de referencia, que es más laboriosa pero necesaria cuando la automática falla.

1.3.3 Drizzle

Es un método desarrollado por la NASA para las observaciones de espacio profundo del Telescopio espacial Hubble, llamado Reconstrucción Lineal de Píxeles Variables.

Permite mejorar la resolución de una pila de imágenes comparada con la resolución de las imágenes originales.

Cada cuadro es proyectado sobre una grilla el doble (o triple) más fina apilando en cada píxel de esta grilla el píxel del cuadro original cuya fracción central se proyecte en él.

El resultado es que el tamaño de la imagen obtenida es el doble (o triple) y los objetos más pequeños que ocupaban apenas unas docenas de píxeles, ocuparán el cuatro o nueve veces más píxeles.

Al apilar suficientes cuadros se obtendrán detalles menores a los píxeles originales.

Es útil cuando se fotografían objetos pequeños como nebulosas planetarias y se desea obtener una imagen aumentada pero sin pixelar. Es un método lento y requiere de muchos cuadros para obtener un buen resultado.

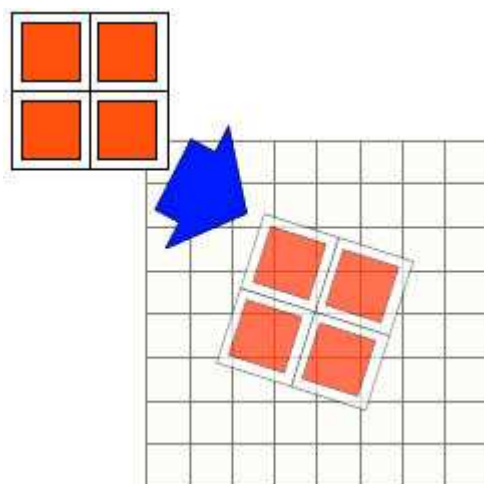


Figura 1-8 Proceso Drizzle

1.4 Apilado

Una vez alineados los cuadros se “apilan”, es decir se combinan matemáticamente los valores de un mismo pixel en cada uno de los cuadros, según diferentes métodos.

1.4.1 Promedio

Se calcula el promedio de los pixeles apilados. Es el método más sencillo y usual. Se obtienen altas relaciones señal/ruido pero es afectada por pixeles anormales.

1.4.2 Suma

Se calcula la suma de los pixeles apilados. Resultan valores absolutos mayores que el promedio, obteniendo mayor rango dinámico si la imagen se graba en formato entero.

1.4.3 Mediana

Se calcula la mediana de los pixeles apilados, es decir un valor tal que la mitad de los pixeles están por debajo y la mitad por encima de él. Es muy eficaz descartando pixeles anormales, pero la relación señal ruido obtenida no es tan buena como con el promedio. Se recomienda cuando se cuenta con pocos cuadros o son muy ruidosos.

Las imágenes pueden ser normalizadas previamente igualando intensidades medias para que los valores sean comparables.

1.4.4 Recorte de Kapa-Sigma

Este método evalúa reiteradamente el promedio y desviación estándar (Sigma) de cada pixel y descarta los valores alejados del promedio más de $Kapa * Sigma$, siendo Kapa un parámetro fijado por el usuario.

Se recomienda cuando se dispone de muchos cuadros pues elimina automáticamente pixeles defectuosos.

Las imágenes pueden ser normalizadas previamente igualando intensidades medias para que los valores sean comparables.

1.4.5 Recorte Kapa-Sigma Mediana (SD Mask)

Este método es similar al método de Recorte de Kapa-Sigma pero en lugar de descartar los valores de los pixeles, éstos son reemplazados por los valores medios. Se recomienda cuando no se tienen suficientes cuadros para usar Recorte Kapa-Sigma.

1.4.6 Promedio Ponderado auto-adaptativo

Este método evalúa un promedio obtenido por ponderación iterativa de cada píxel por la desviación de la media respecto de la desviación standard.

1.4.7 Promedio Ponderado de Entropía

Es particularmente útil cuando se apilan imágenes tomadas con diferentes tiempos de exposición y velocidades ISO, y crea una imagen promediada con la mejor dinámica en cada pixel evitando saturar las zonas brillantes de la imagen.

1.5 Combinación de canales

Esta técnica consiste en combinar una imágenes monocromáticas tomadas con diferentes filtros en una única imagen color.

El juego de filtros más comúnmente usado es Rojo, Verde, Azul y Luminancia⁽⁵⁾ o Transparente, aunque también pueden usarse otros entre los cuales se destacan los llamados filtros de “banda angosta”.

Combinando imágenes con filtros Rojo, Verde y Azul se obtiene una imagen color por combinación **RGB**. Si los filtros **RGB** no bloquean el **IR** será necesario usar junto con cada filtro color un filtro de Bloqueo de IR para que los colores resulten correctos.

Meade DSI Pro Filter Response Without Meade IRB

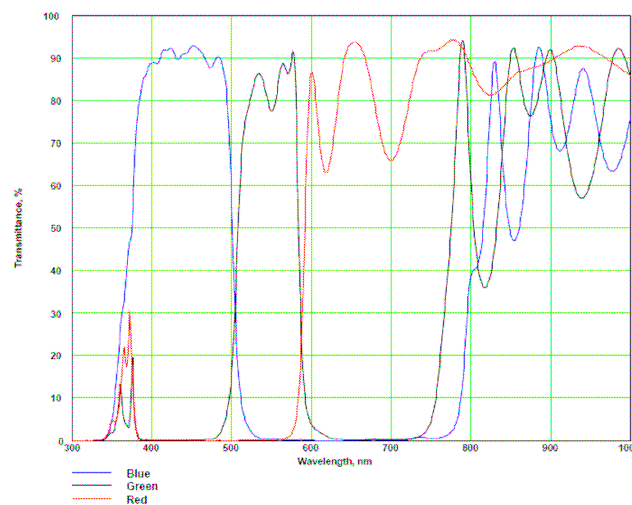


Figura 1-9 Gráfica de filtros R, G y B

Meade DSI Pro Infrared Blocking (IRB) Filter Response

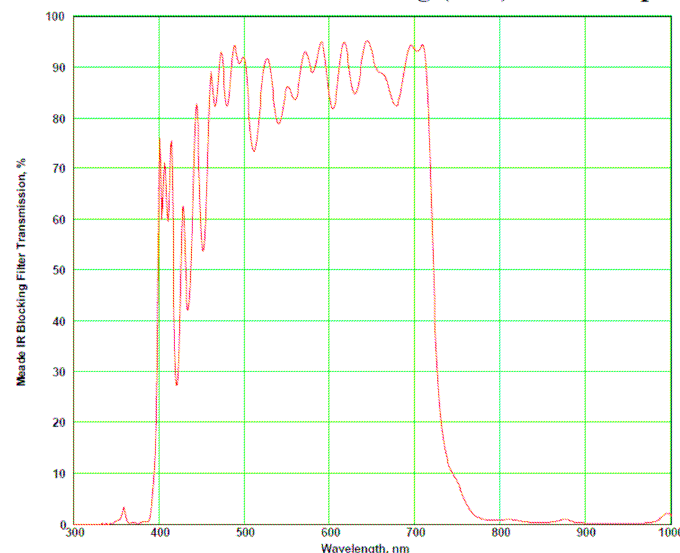


Figura 1-10 Gráfica de filtro de Luminancia

⁵ Que bloquea la luz infrarroja y la ultravioleta. Su uso se recomienda especialmente para telescopios refractores debido a que éstos no enfocan bien estas longitudes de onda no visibles.

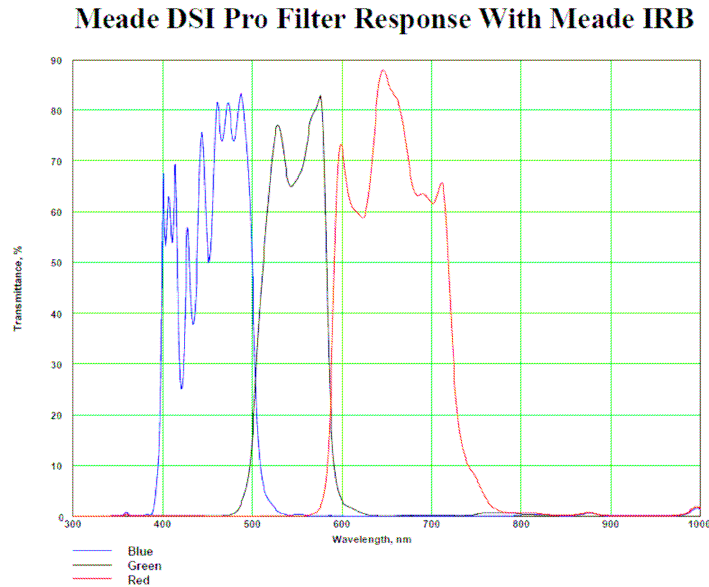


Figura 1-11 Gráfica de filtros RGB combinados con IRB

Es muy común agregar a estas una imagen tomada con filtro transparente o de bloqueo de infrarrojo llamada “Luminancia”, obteniéndose una imagen color por combinación **LRGB**. En este caso la información de color también puede provenir de una imagen a color previamente descompuesta en tres imágenes monocromáticas correspondiente una a cada canal.

El objetivo de la Luminancia es combinar los detalles finos de la misma, que suele tener mayor resolución y tiempo de exposición, con la información de color de los otros canales. También es posible obtener la Luminancia a partir de una imagen color. Esto se hace para aplicar ajustes de histograma sobre ella sin afectar los canales de color.

El balance de los distintos colores en la imagen combinada se ve afectado por diversos factores: sensibilidad del sensor a cada color, extinción atmosférica de la luz azul cerca del horizonte, polución lumínica, tiempo de exposición de cada canal, etc.

Como los sensores no son igualmente sensibles a la luz de diferentes colores, las exposiciones R, G y B suelen ser de diferente duración. La exposición en cada canal de color debe ser suficiente para obtener una buena relación señal/ruido. Usualmente la Luminancia se expone más tiempo para obtener buenos detalles en la misma.

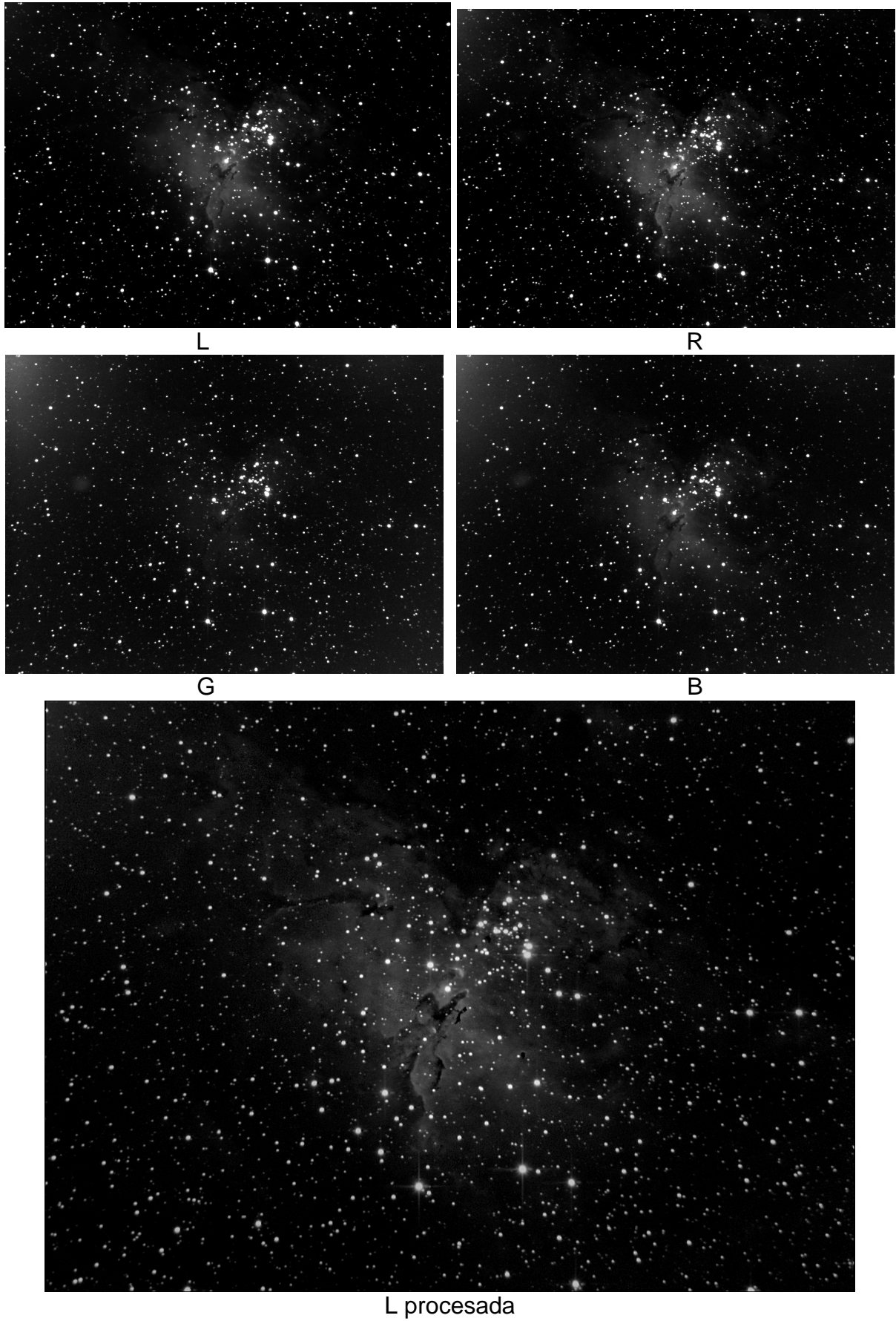
Durante la combinación de canales o luego de la misma se ajusta el balance de color. Usualmente el postprocesamiento de la imagen se hace después de la combinación de canales, excepto la corrección de gradiente que suele hacerse antes para obtener un fondo poco coloreado.

Si se va a usar combinación LRGB, los ajustes de histograma se realizan sólo sobre la luminancia.

Cuando los canales L, R, G y B se obtienen mediante exposiciones separadas con una cámara blanco y negro (no extrayéndolos de una imagen color), es necesario revisar el enfoque con cada filtro, pues puede diferir ligeramente y deben tomarse cuadros planos para cada filtro, pues tendrán diferentes motas de polvo y diferente viñeteo.

Antes de combinar los canales, las imágenes deben ser debidamente alineadas (a menos que hayan sido todas extraídas de una misma imagen color).

1.5.1 Ejemplo





LRGB procesada

1.6 Preprocesamiento con MaxIm DL

Para procesar las fotos en MaxIm DL primero debemos configurar la calibración.

Para ello en la ventana de Configurar Calibración indicamos la carpeta que contiene los Cuadros Oscuros y con Auto Generar obtendremos grupos de cuadros oscuros.

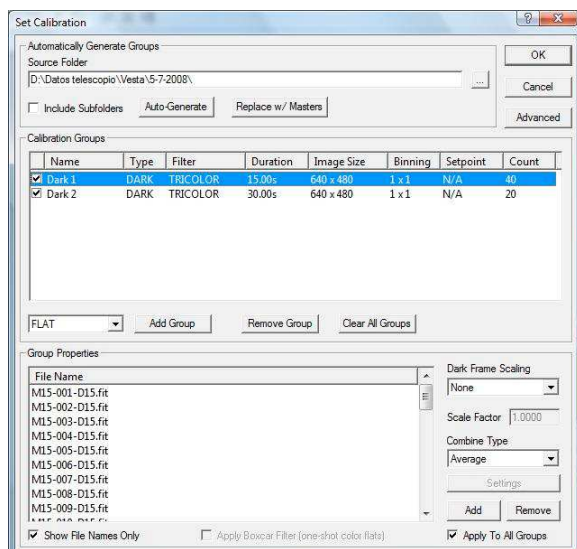


Figura 1-13 Grupos generados

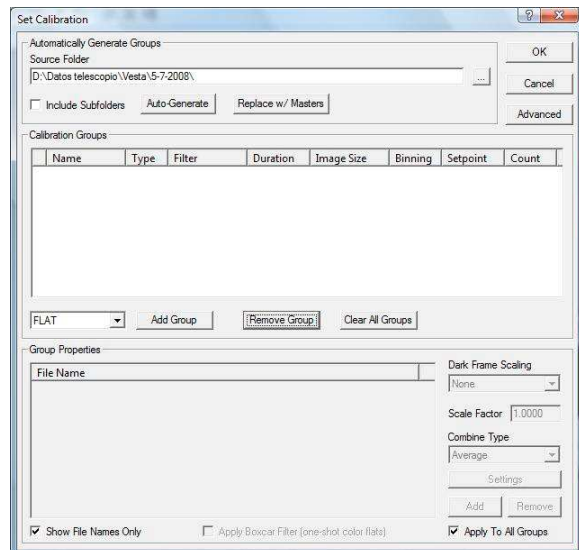


Figura 1-12 Generación de grupos

MaxIm usará para calibrar cada cuadro el grupo correspondiente al tiempo de exposición, tamaño de imagen, etc. Se pueden usar diversas formas de combinación y escalado.

Para que los procesos sean más rápidos conviene remplazar estos grupos por Cuadros Maestros.

Con el botón avanzados se determina el detalle de cómo calibrar.

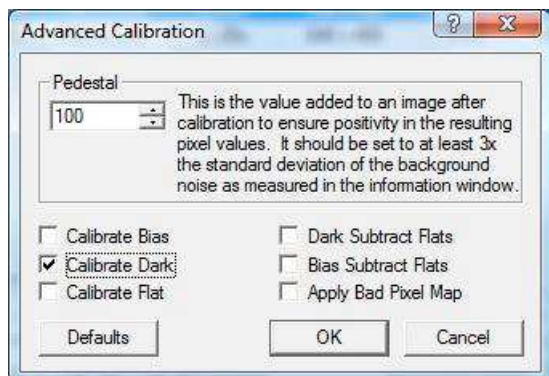


Figura 1-14 Detalles avanzados

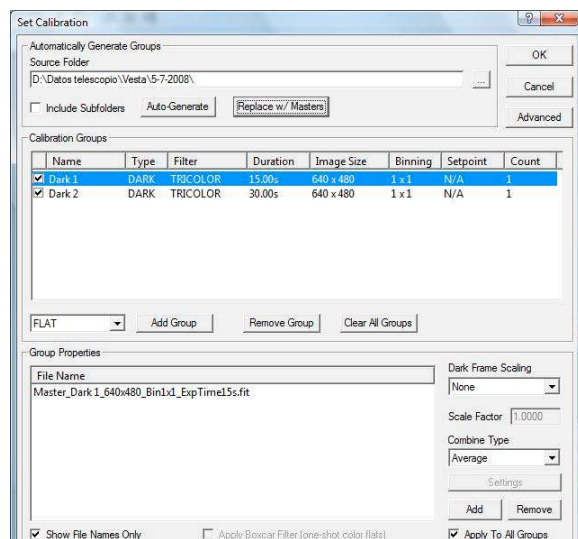


Figura 1-15 Cuadros maestros

En este caso sólo vamos a calibrar con Cuadros Oscuros.

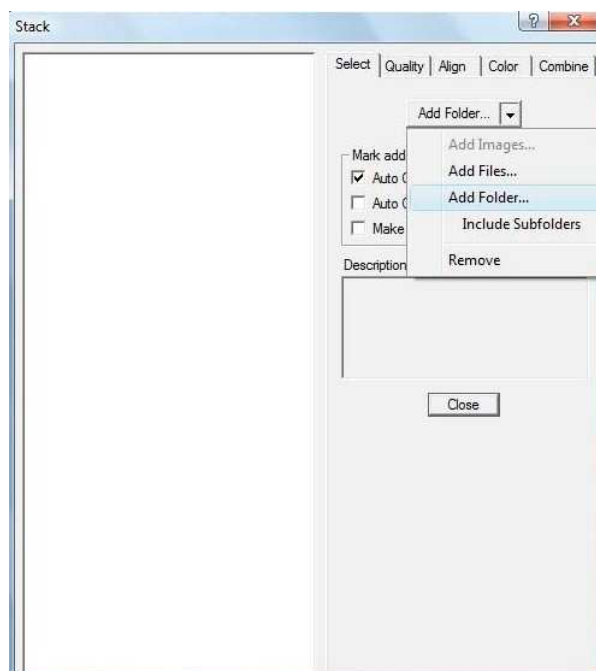


Figura 1-16 Agregado de archivos a apilar

A continuación abrimos la ventana de apilado para seleccionar las imágenes que vamos a apilar. Marcamos Auto calibrate para que calibre cada imagen al cargarla. Si fuera necesario también se puede marcar Auto color convert, para decodificar el color de las imágenes, y Make pixels square para interpolar a pixeles cuadrados cuando la cámara los tiene rectangulares, como la DSI-C. Si tenemos todas las imágenes en formato FITS en una carpeta, en lugar de seleccionar los archivos, se puede agregar la carpeta y el programa las clasificará según el objeto y filtro indicado en el encabezado FITS.

Si no queremos procesar todos los grupos del mismo modo, podemos dejar marcados sólo los que queremos procesar.

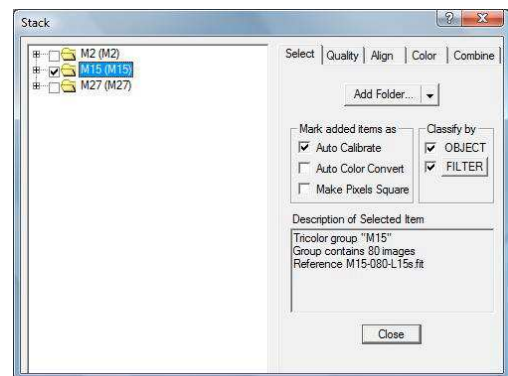


Figura 1-17 Marcar sólo grupo a procesar

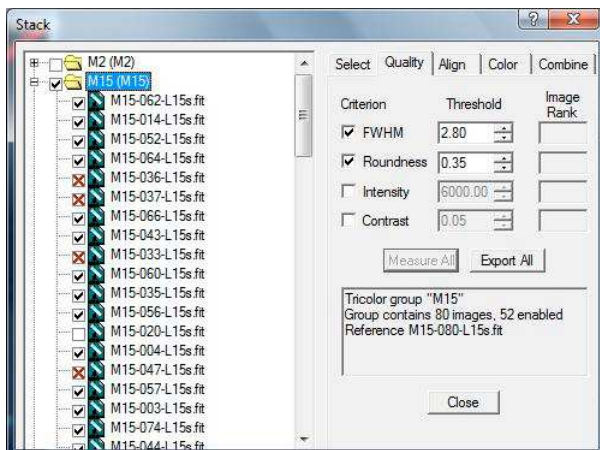


Figura 1-18 Parámetros de calidad

En la solapa Quality marcamos los parámetros de calidad que queremos evaluar para ayudarnos a seleccionar y clickeamos Measure all. Se pueden indicar valores extremos de cada parámetro para seleccionar automáticamente las imágenes que cumplan con los criterios de calidad.

Procesamiento avanzado de imágenes de Espacio Profundo

La redondez de las estrellas es un buen parámetro de calidad para imágenes de Espacio profundo. El Ancho Total a Mitad del Máximo (FWHM) también es una medida importante. Ordenamos las imágenes por redondez creciente.

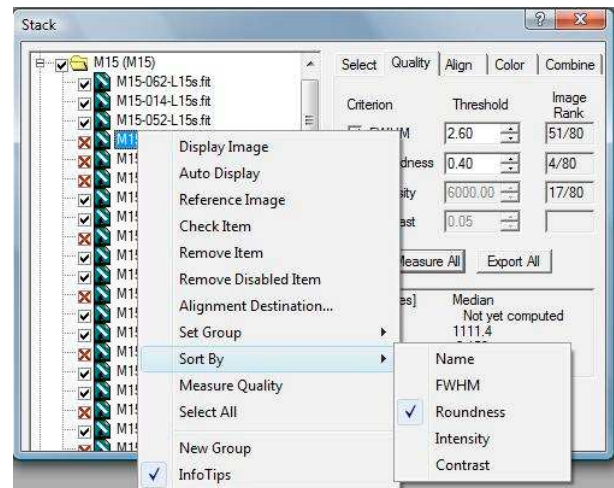


Figura 1-19 Ordenar por Redondez

También marcamos Auto display para que muestre cada imagen que seleccionamos.

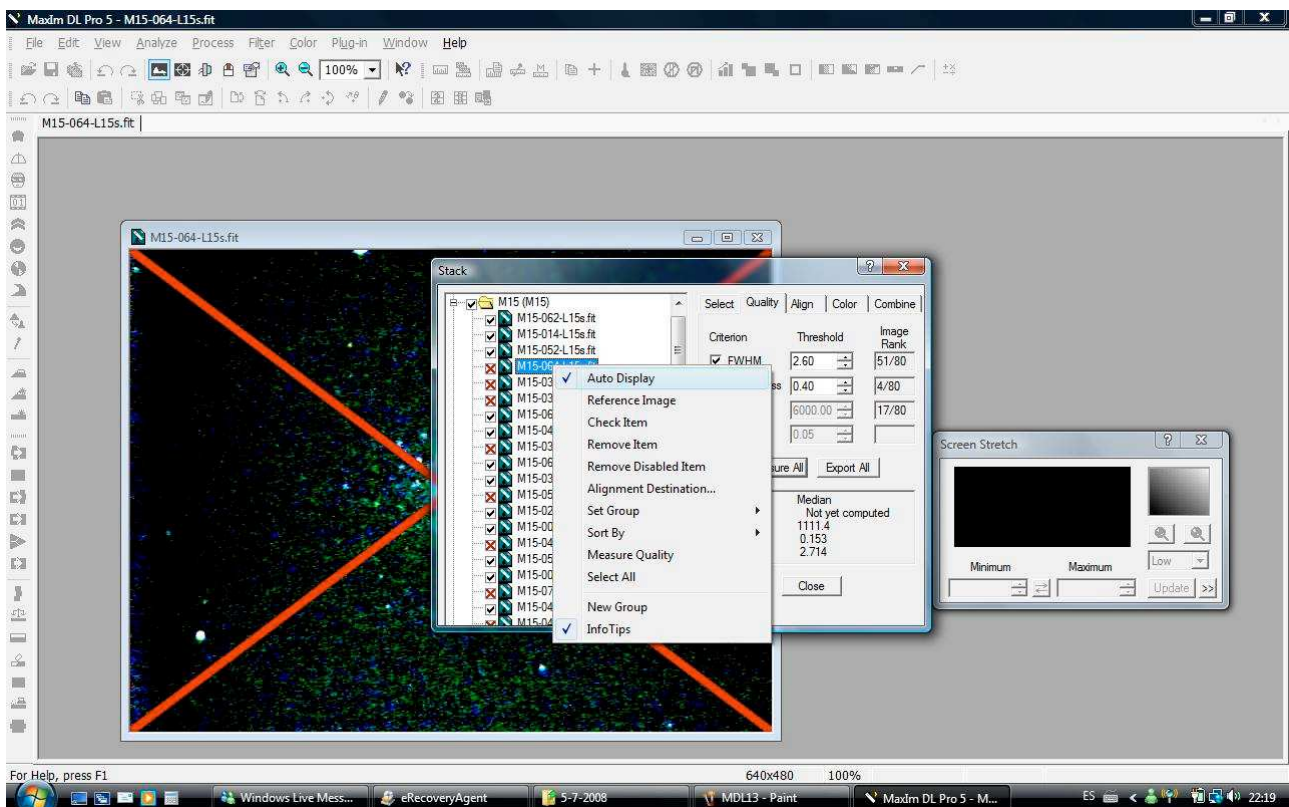


Figura 1-20 Marcar autodisplay

Vamos inspeccionando cada imagen para eliminar las que estén movidas o tengan brillos de fondo anormales por pasaje de nubes, aviones, árboles, etc.

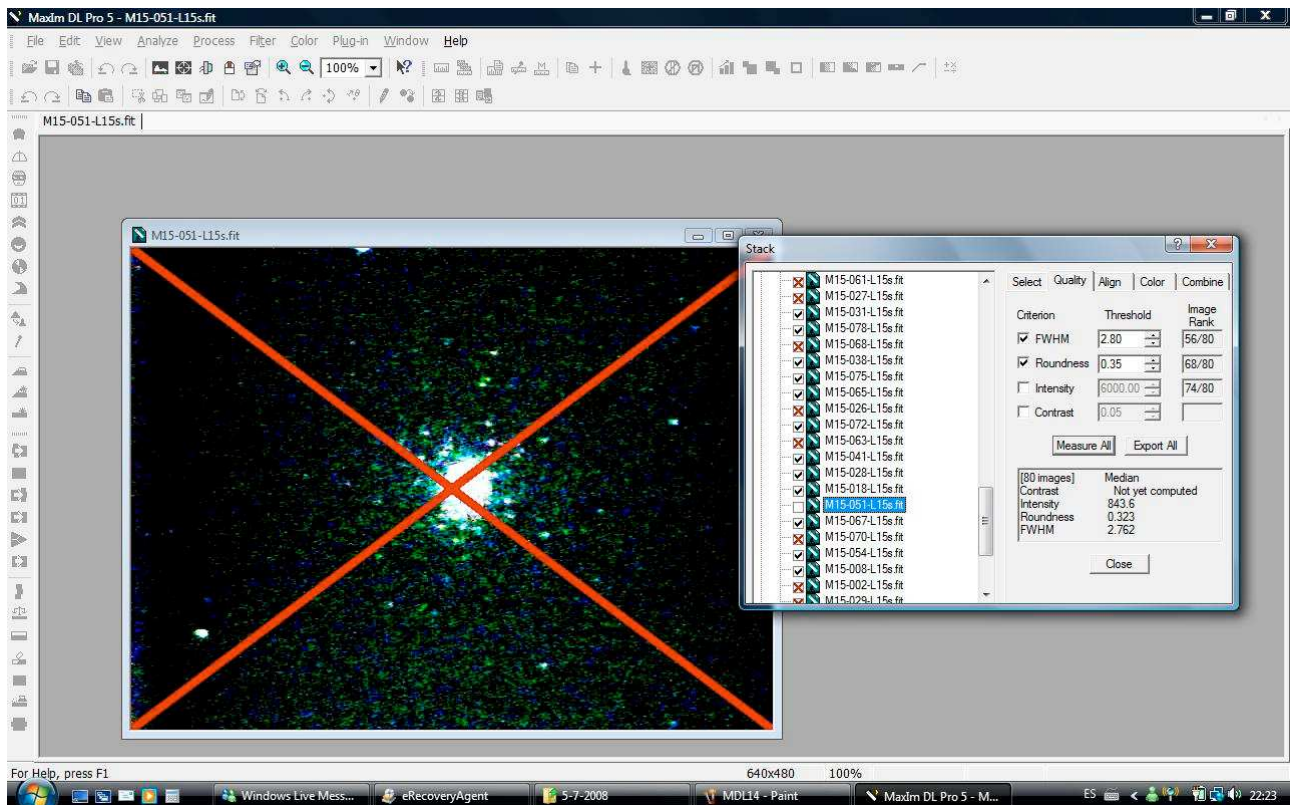


Figura 1-21 Desmarcar cuadros defectuosos

Ajustando los valores límites de Redondez y FWHM nos ayudamos a decidir la selección, aunque de todos modos conviene revisarlas todas de a una y desmarcar las malas aunque pasen estos criterios de calidad.

En la solapa Align podemos elegir el método de apilado a usar.

Yo suelo usar Auto star matching, pero si no da buen resultado paso a una o dos estrellas manuales.

Haciendo click derecho sobre una imagen se le puede seleccionar como imagen de referencia de alineación. De lo contrario se usa la primera.

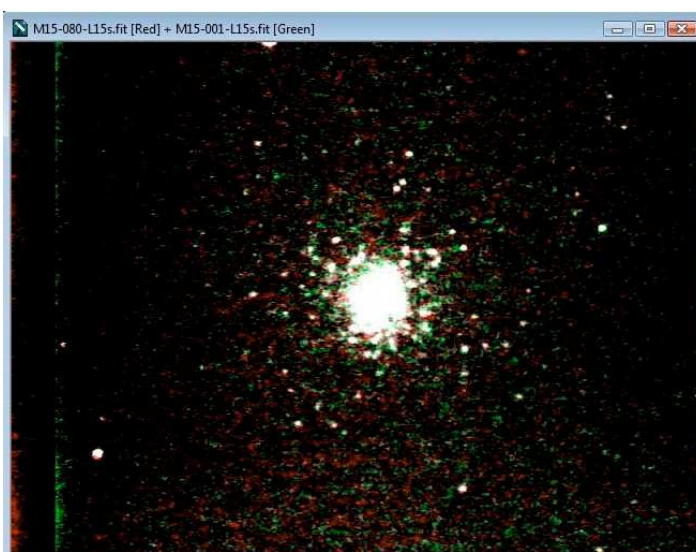


Figura 1-22 verificando alineación

En este momento se puede calcular las alineaciones y si se desea verificar su exactitud, al seleccionar una imagen, se mostrará superpuesta a la de referencia en diferente color.

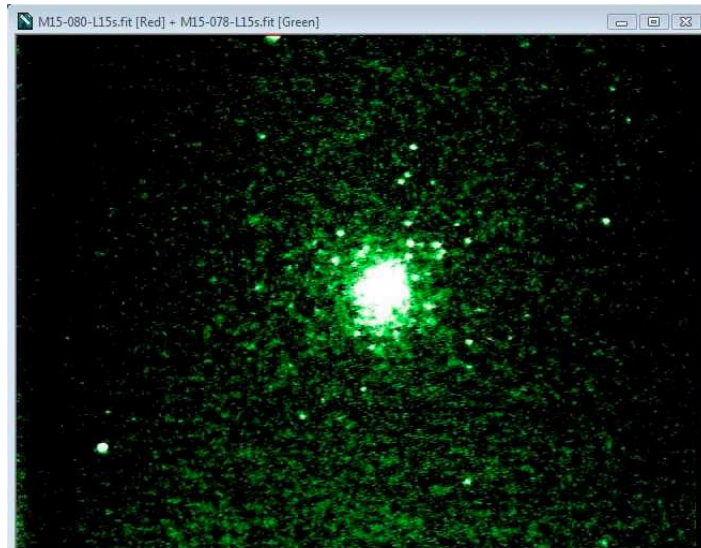


Figura 1-23 alineación mejorada en overlay

En la solapa Combine se puede seleccionar el método de apilado, es decir cómo va a calcular el valor de cada pixel en el resultado.

Yo suelo usar Sigma Clip, que descarta los valores muy alejados del promedio. Clickeando en Go se hace el apilado y se muestra el resultado.

Seleccionando el método Overlay podemos mejorar la alineación manualmente.

Se puede mover por fracciones de pixel hasta lograr el color más parejo.

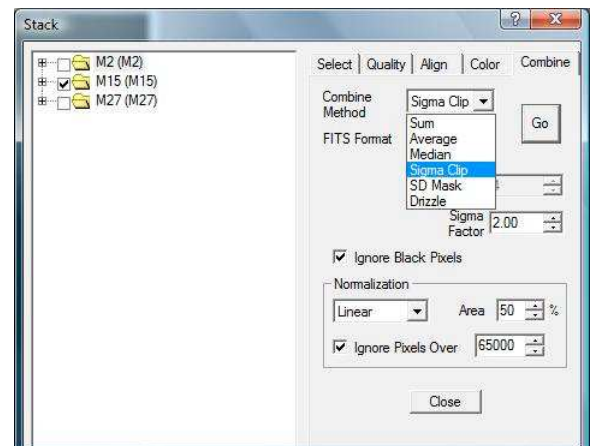


Figura 1-24 métodos de apilado

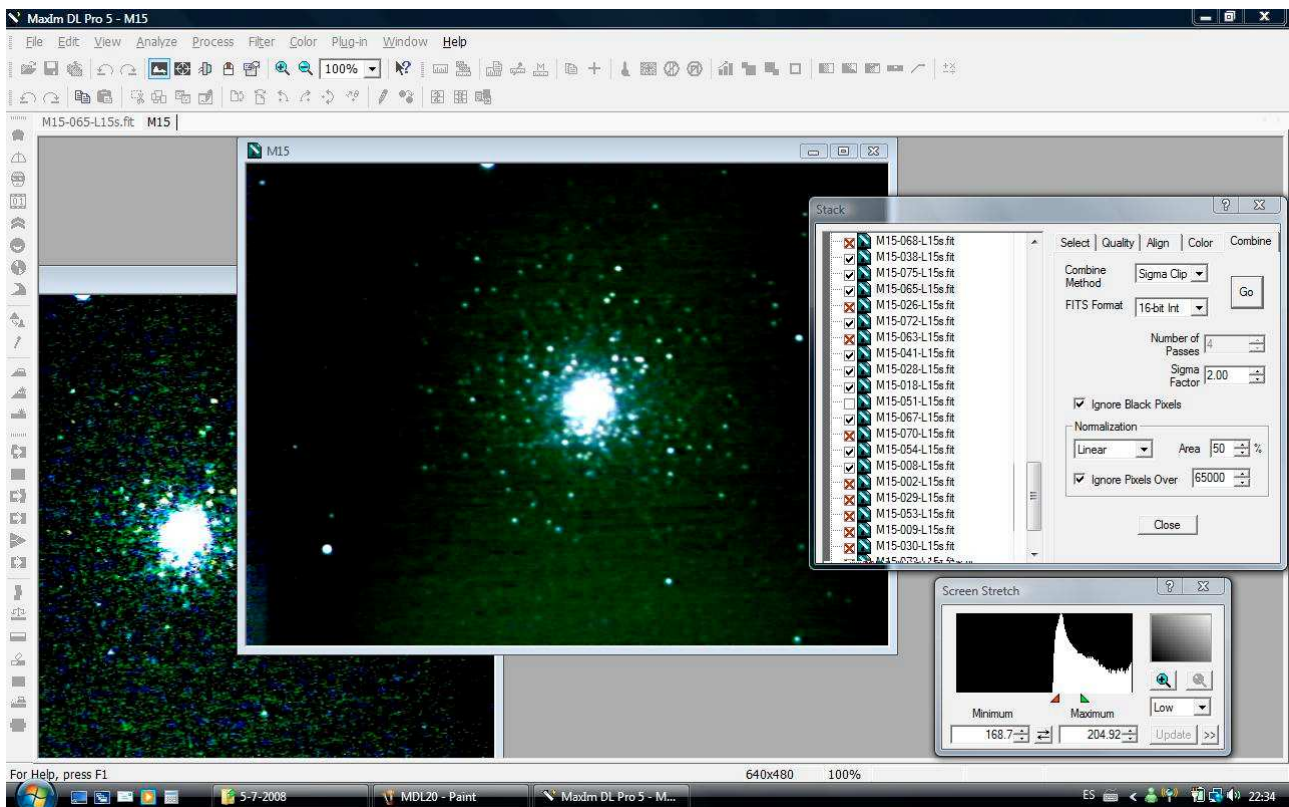


Figura 1-25 resultado del apilado

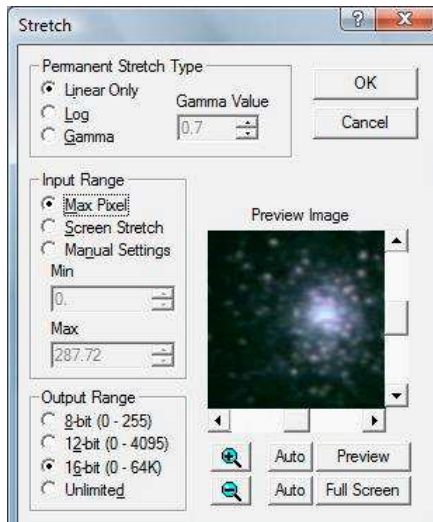


Figura 1-26 cambio de escala de histograma

Los cálculos se hacen con aritmética de punto flotante, por lo cual los valores de pixeles resultantes no se limitan a valores enteros.

Para que la imagen no ocupe mucho espacio en disco pero tenga buen rango dinámico, prefiero grabarla en formato FITS entero de 16 bits comprimido.

Como en este caso, como las imágenes originales eran de webcam cuyos valores están entre 0 y 255, el resultado también tendrá valores en ese rango y grabar esos valores en entero haría perder el mayor rango dinámico logrado con el apilado.

Para solucionar esto se puede hacer un cambio de escala a la escala de valores posibles de 16 bits, de 0 a 64,000.

De este modo al grabar en enteros se mantiene el rango dinámico.

Antes de grabar podemos verificar el encabezado FITS

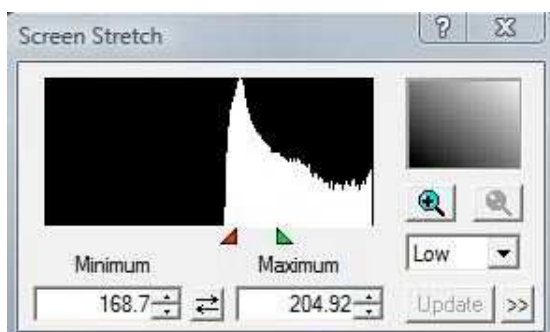


Figura 1-28 Histograma original

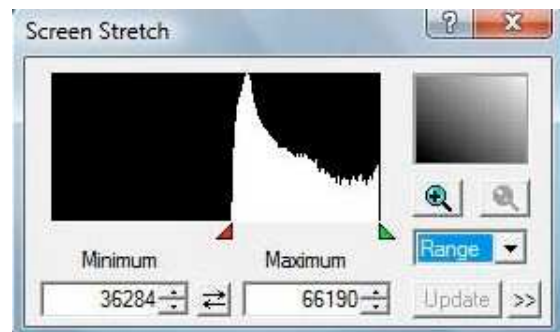


Figura 1-27 Histograma escalado

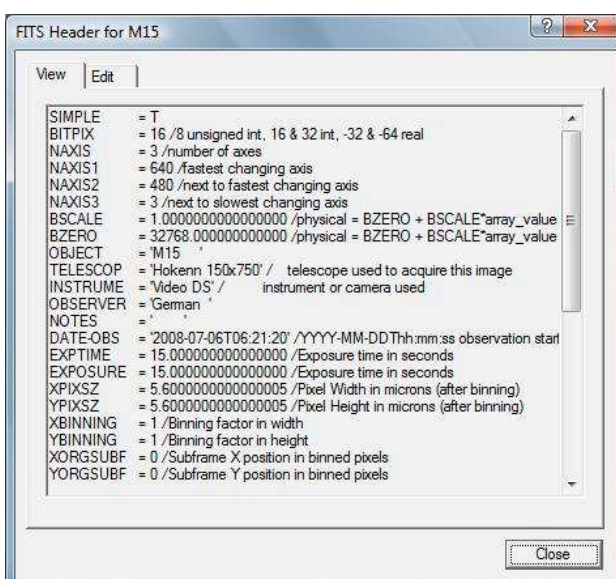


Figura 1-30 Encabezado FITS

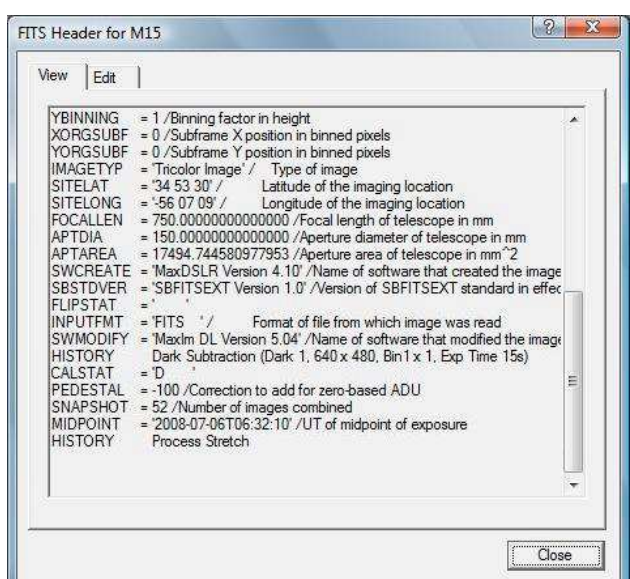


Figura 1-29 Encabezado FITS

E inclusive editar algunos de sus valores.

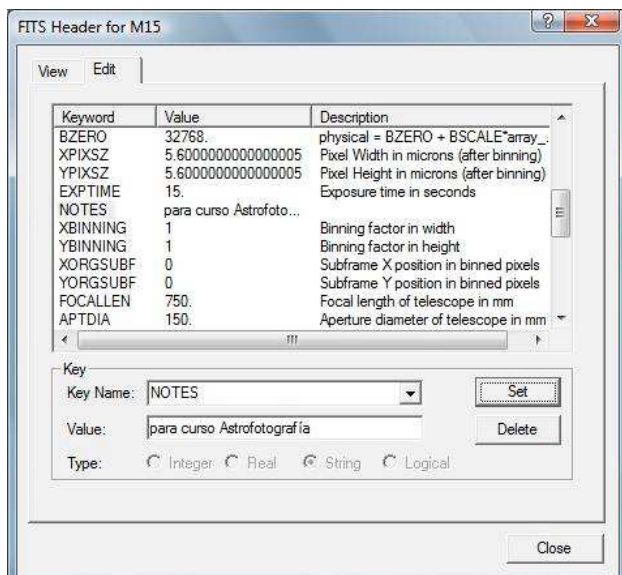


Figura 1-31 Edición de encabezado

La desventaja de este formato comprimido es que sólo se puede abrir con este programa.

Sin comprimir ocupa 1.76 MB pero puede ser abierto por diversos programas.

También se puede grabar como TIFF de 16 bits comprimido o sin comprimir.

Finalmente grabamos la imagen en formato FITS entero 16 bits comprimido.

Esta imagen, por ejemplo, ocupa sólo 1.12 MB a pesar de tener buen rango dinámico.

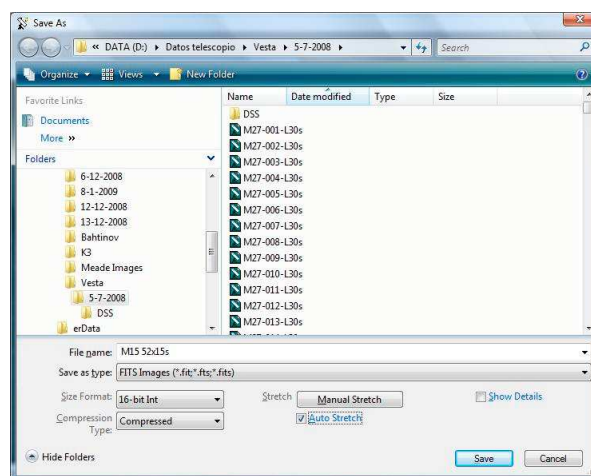


Figura 1-32 Grabado en 16 bits comprimido

2 Postprocesamiento

Si la imagen resultado del preprocesamiento es satisfactoria, 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 posteriores más elaborados como modificación del histograma y equilibrio de color, filtros de enfoque, etc.

Especialmente en galaxias y nebulosas suele haber grandes variaciones de brillo que hacen imposible ver detalles en las zonas claras y oscuras en una misma fotografía si no se hace un procesamiento adecuado. Los buenos programas de astrofotografía permiten hacer este postprocesamiento pero también es muy popular el uso de Photoshop.

El proceso de mejora de la imagen puede resumirse en tres etapas:

- ✓ Remover gradientes en el brillo de fondo.
 - ✓ Seleccionar el rango de intensidades que se quiere mostrar ajustando el punto negro y blanco del histograma, eliminando la información fuera de dicho rango.
 - ✓ Hacer modificaciones no lineales del histograma, es decir alterar las proporciones relativas en que se muestran los distintos brillos para destacar u disimular distintas regiones de brillo.
 - ✓ Realzar la apariencia de la imagen con herramientas de enfoque, desenfoque y otros.
- El proceso de deconvolución, a diferencia de los demás, se recomienda hacerlo antes de las etapas anteriores, es decir inmediatamente después de la calibración, inclusive antes de la combinación de canales de color.

2.1 Remoción de gradientes

Uno de los efectos de la polución lumínica, además de limitar la magnitud máxima detectable, es generar gradientes en el brillo de fondo de las fotografías. Por supuesto este gradiente es más importante en las fotos de campo amplio pero puede ser significativo también en campos reducidos.

El uso de filtros de supresión de polución lumínica disminuye estos efectos pero al costo de hacer necesarios mayores tiempos de exposición.

El gradiente también puede provenir del brillo de la luna o del uso de campos planos con iluminación no uniforme o de la falta de campos planos.

Generalmente el gradiente debido a la polución lumínica o luz de luna es lineal y el gradiente debido al mal uso de campos planos es radial.

En fotos de espacio profundo, como los objetos suelen ser muy débiles, el efecto de los gradientes pueden estropear una imagen.

Estos gradientes pueden ser removidos mediante postprocesamiento de la imagen.

Cuando la imagen se obtendrá por combinación de canales, la remoción de gradiente debe hacerse antes de dicha operación para obtener un fondo menos coloreado.

MaxIm DL tiene varios filtros para remoción de gradientes.



Figura 2-1 Imágen con gradientes

La herramienta “auto-remover gradiente” compensa gradientes lineales mientras de la de “auto-aplanar fondo” remueve gradientes radiales.

Hay una herramienta de “aplanar fondo” que permite mayor control del proceso.

La imagen que obtuvimos de M15 tiene gradientes debido a que no se utilizaron campos planos en su calibración.

Ajustado el histograma se ve que los lados de la imagen son más oscuros que el medio.

Este gradiente se puede corregir con la herramienta “aplanar fondo” de MaxIm DL.

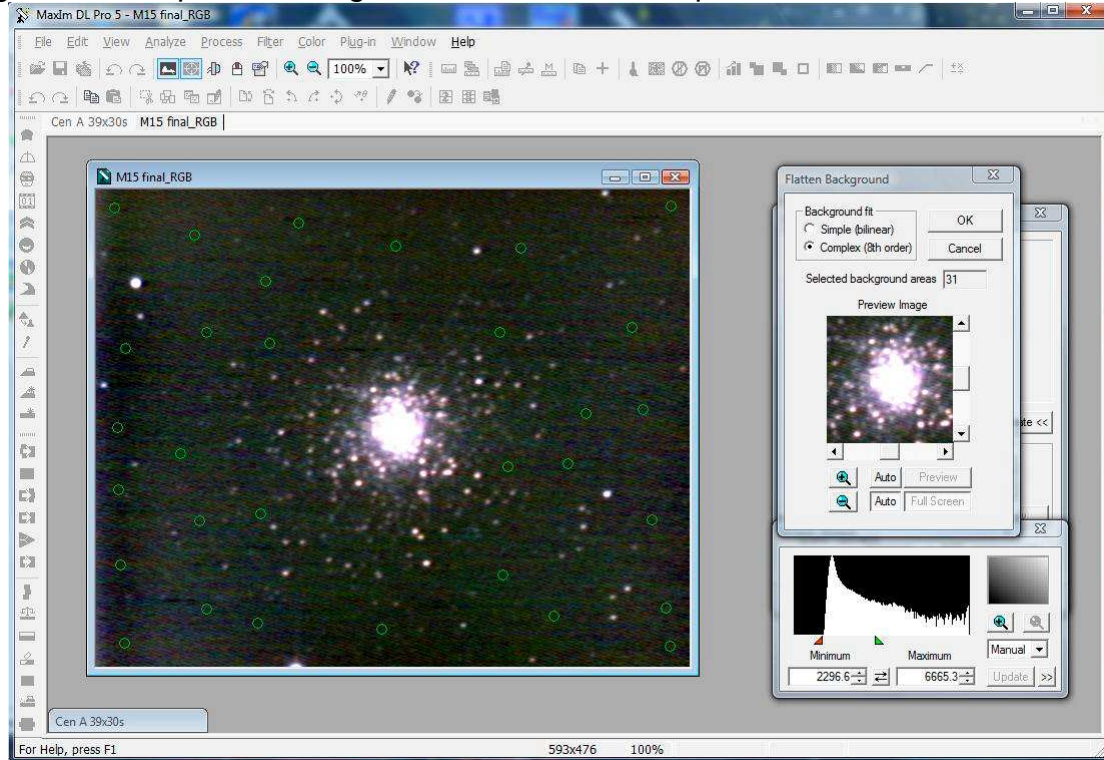


Figura 2-2 Aplanado de fondo



Figura 2-3 Imagen con fondo aplanado

Para ello se seleccionan puntos del fondo que el programa utiliza para generar un patrón de fondo que luego resta de la imagen. La imagen resultante tiene un fondo más parejo.

PixInsight LE tiene una herramienta para generar campos planos artificiales y usarlos para compensar los gradientes. Hay un buen tutorial acerca de esto en [http://www.astromodelismo.es/WebAstronomia/Webenlazables/Tecnicas/Procesadobasico de una toma/index.htm](http://www.astromodelismo.es/WebAstronomia/Webenlazables/Tecnicas/Procesadobasico%20de%20una%20toma/index.htm)

2.2 Ajustes de aspecto

2.2.1 Ajuste lineal de histograma

Un histograma es una gráfica de la abundancia de los diferentes niveles de brillo en una imagen, con el negro en el extremo izquierdo y el blanco en el extremo derecho. En el eje horizontal se muestran los niveles de brillo en la imagen y en el eje vertical el porcentaje de píxeles que tienen cada valor de brillo, generalmente en escala logarítmica.

Las cámaras digitales pueden captar miles de niveles de brillo diferentes, y las imágenes de webcam resultantes del apilado de varias decenas de cuadros también pueden tener varios miles de niveles diferentes.

El ojo humano no puede distinguir tal variedad de brillos y además usualmente la parte de la imagen que nos interesa tampoco cubre toda esa variedad de brillos. Por esto suele reducirse el rango de valores de brillo que se muestra en la imagen mediante “ajustes de histograma”.



Figura 2-4 Mostrando todo el rango

En MaxIm DL y otros programas estos ajustes se hacen definiendo el “punto negro” y “punto blanco”, que son los límites del rango de brillos que se desea mostrar en la imagen, mostrando como negro aquellos puntos con brillo inferior al punto negro y como blanco los puntos con brillo superior al punto blanco.

El histograma típico de una astrofotografía tiene una zona en el extremo oscuro del histograma con muchos píxeles, que corresponde al fondo del cielo y generalmente no es lo que interesa, una zona intermedia de píxeles relativamente oscuros donde está la parte de la imagen más interesante (nebulosas, galaxias, etc.) y una zona de pocos píxeles en niveles más brillantes, que corresponde a las estrellas.

Como generalmente juzgamos el brillo de una estrella en una foto por su tamaño y no por el brillo de los píxeles correspondientes, esta última zona tampoco suele ser de interés en imágenes de espacio profundo. Por ello usualmente ajustamos el histograma para que la imagen sólo muestre la zona intermedia, quedando negro el fondo del cielo y blanco la mayor parte de las estrellas o al menos sus centros.

Al hacer estos ajustes en imágenes de espacio profundo se debe cuidar de no subir demasiado el punto negro y que se pierdan detalles tenues del objeto de interés o las estrellas más débiles.

En algunos programas como MaxIm DL estos ajustes de histograma sólo afectan la forma en que se muestra la imagen pero no los datos grabados y por lo tanto estos ajustes son reversibles, es decir que luego se puede ampliar el rango del histograma y ver las zonas que habían quedado negras o blancas.

En otros programas estos ajustes son permanentes, es decir que los datos de brillo se escalan para que el rango de interés del histograma cubra todo el rango de valores posibles, pasando a negro y blanco puros los pixeles fuera de dicho rango. En este caso dicha información se pierde.

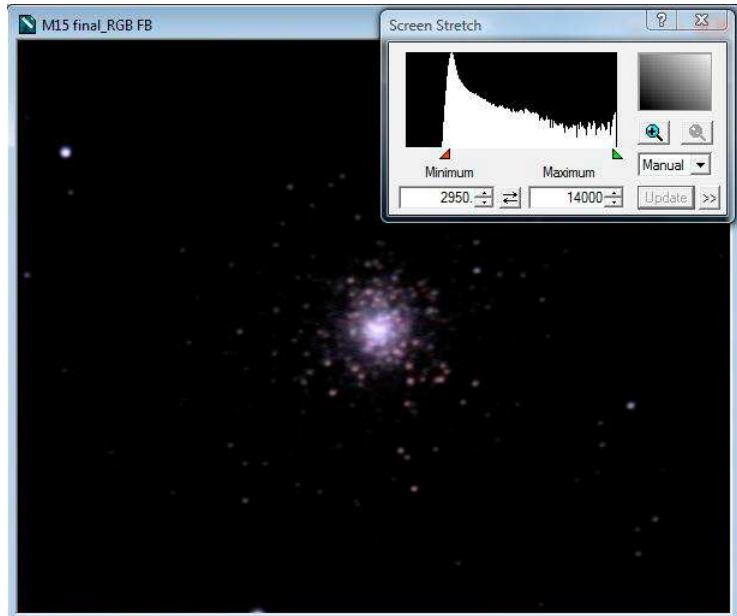


Figura 2-5 mostrando histograma ajustado

2.2.2 Ajustes de color

Los ajustes lineales de histograma pueden hacerse sobre los canales individuales en las imágenes a color, permitiendo así ajustar el color de la fotografía.

Algunos programas tienen herramientas especiales para hacer este “balance de color” en los cuales se puede ajustar los niveles de fondo (equivalentes a los puntos negros de cada canal) y el escalado de cada color (equivalente a la amplitud de rango de cada canal).

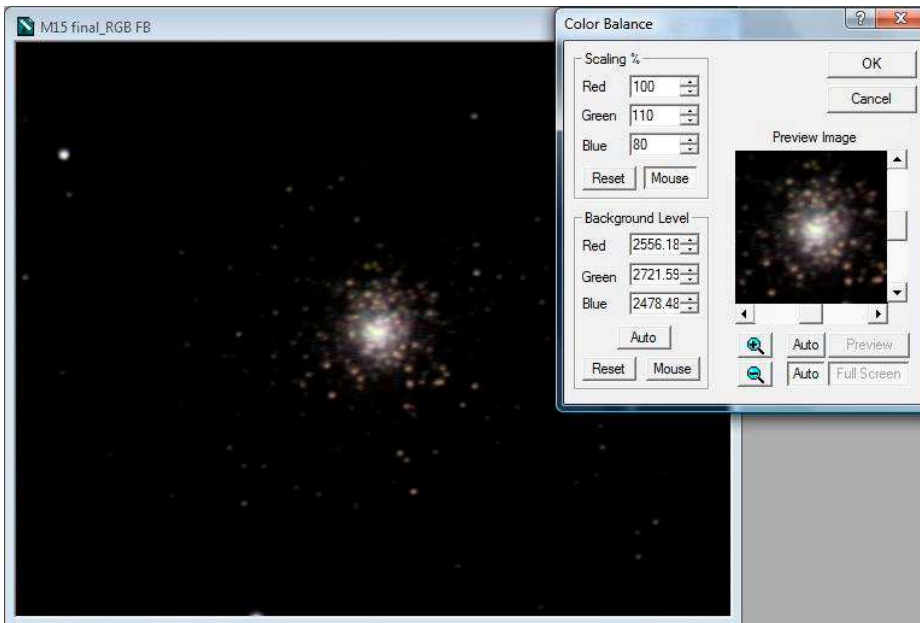


Figura 2-6 Balance de color

En la figura se ve el ajuste de color en el cual se usaron niveles de fondo automáticos y factores de escalas para cada canal.

En

http://www.astromodelismo.es/WebAstronomia/Webenlazables/Tecnicas/Normalizado_de_una_toma/index.htm hay un tutorial en castellano que detalla cómo hacer ajustes de color con PixInsight LE

2.2.3 Ajuste de gama

Es una forma elemental de ajuste no lineal de histograma.

Cuando se ajusta el punto negro y blanco del histograma, los valores de brillos mostrados en la pantalla corresponden a un escalado lineal del rango de histograma elegido.

Algunos programas tienen un tercer punto intermedio entre el punto blanco y el punto negro con el cual se puede hacer el ajuste de gama. Otros lo hacen introduciendo el valor de gama deseado. Al hacer este ajuste los brillos mostrados en pantalla ya no son linealmente proporcionales a los valores del rango de histograma sino que esa proporción es deformada para que el punto “de medio tono” tenga un 50% de brillo, es decir el valor intermedio entre el negro y el blanco.

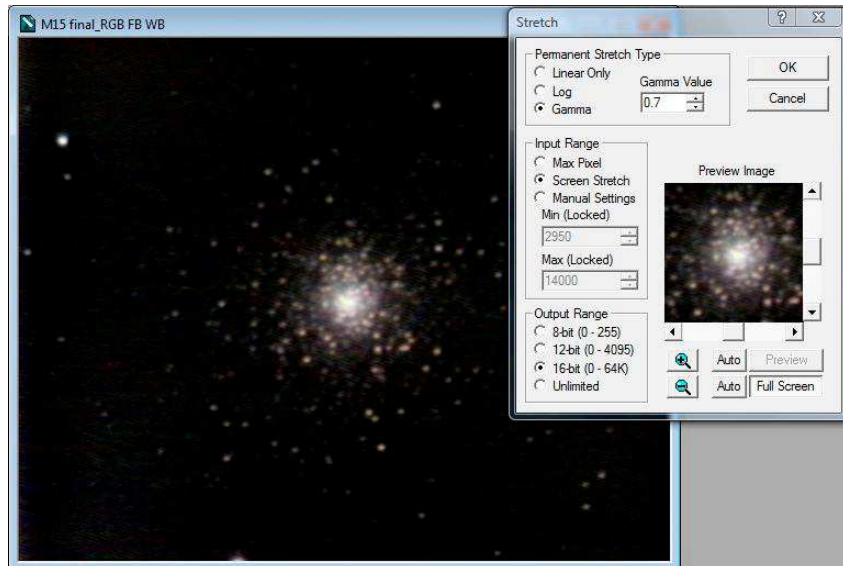


Figura 2-7 ajuste de gama

Si el punto medio se desplaza a la izquierda (gama menor a uno), la imagen se hace más brillante, pero aumentando más el brillo de las zonas oscuras que el de las claras. Cuando se desplaza a la derecha (gama mayor a uno) la imagen se oscurece, disminuyendo más el brillo de las zonas claras que el de las oscuras.

2.2.4 Ajustes con curvas

Es una forma más elaborada de ajuste no lineal de histograma.

En general esta herramienta muestra una gráfica de los brillos que se mostrarán en pantalla en función de los brillos originales de la imagen.

El eje horizontal es el rango de histograma de la imagen y el eje vertical es el rango de brillos resultante en pantalla. Inicialmente esta gráfica es una línea recta.

Esta equivalencia puede manipularse para darle forma curva haciendo más o menos brillantes los rangos de valores que nos interesen.

En <http://pixinsight.com/tutorials/LE/histograms-vperis/es.html> hay un tutorial que explica cómo hacer ajustes de histograma y de curvas con PixInsight LE.

Otro tutorial sobre ajuste de histograma y curvas y extracción de gradientes con PixInsight puede encontrarse en

http://www.astrosurf.com/astro35mm/articulos/pixinsight/tutorial_pixinsight.htm .

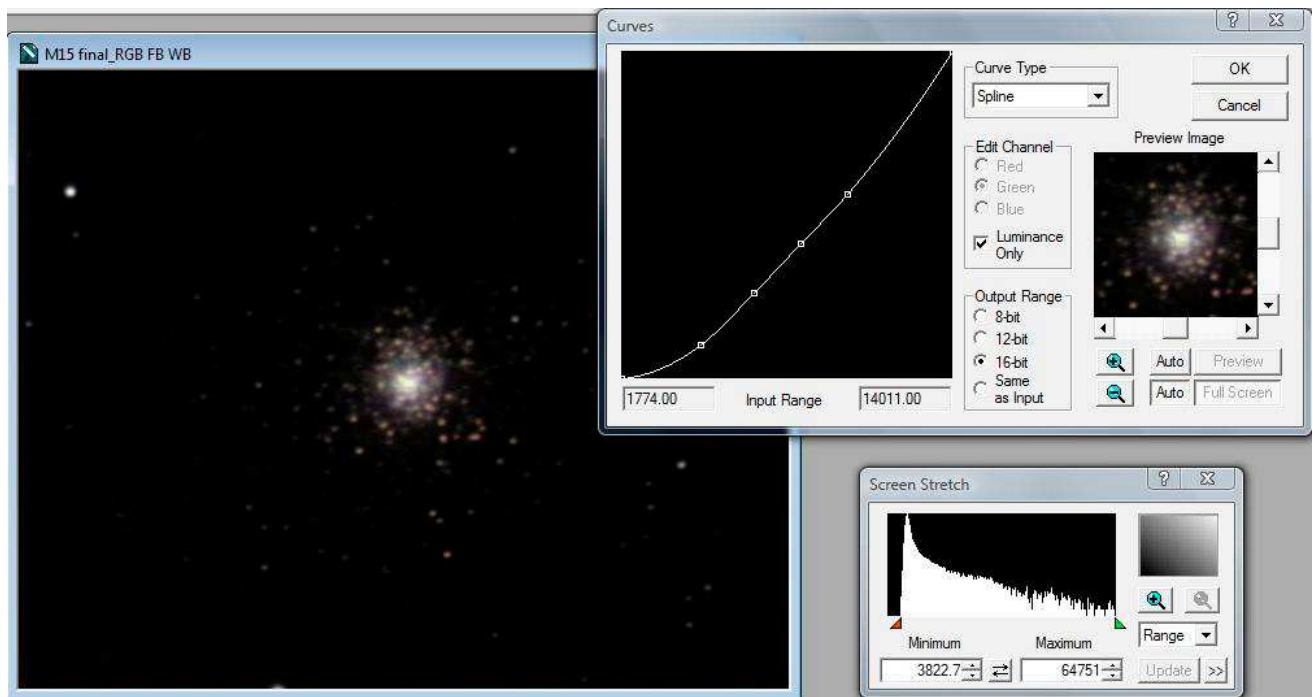


Figura 2-8 ajuste con curvas

2.2.5 Proceso de Revelado Digital (DDP)

Es un proceso de ajuste no lineal de histograma que permite hacer que el área de interés de la imagen ocupe buena parte del histograma en lugar de estar concentrada en un pequeño rango del mismo. Además realiza un aumento de contraste.

El revelado digital hace que la foto se parezca más a una fotografía química, que es

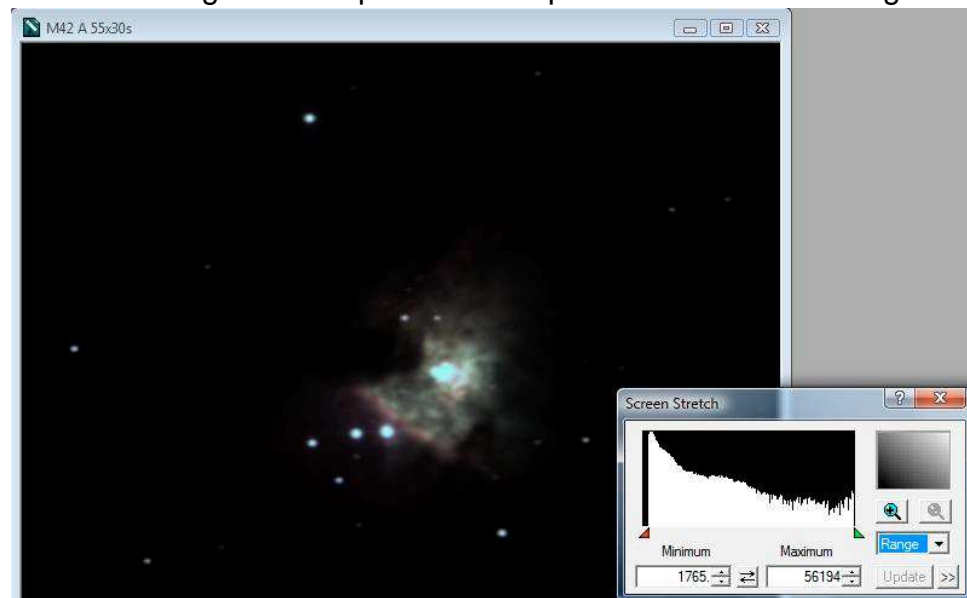


Figura 2-9 nebulosa muy oscura

inherentemente no lineal. Este proceso puede hacerse manualmente combinando un ajuste con curvas y un filtro de contraste, permitiendo un total control sobre el resultado, pero los programas que implementan este proceso simplifican esta tarea con buenos resultados.

Un objeto que típicamente puede beneficiarse de este proceso es M42 debido a la gran diferencia de brillo entre el trapecio y las zonas exteriores de la nebulosa. Los ajustes lineales de histograma no logran mostrar ambas zonas visibles simultáneamente.

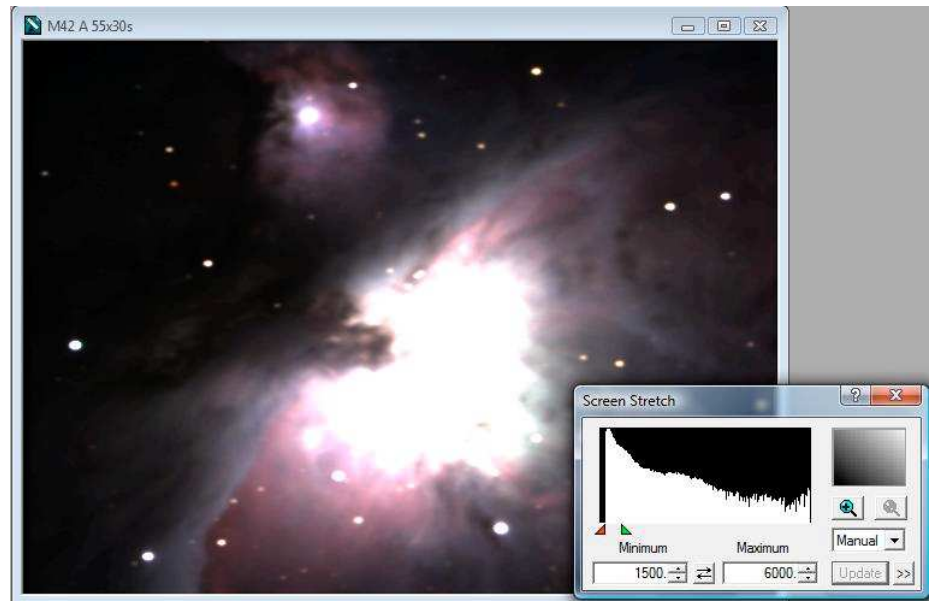


Figura 2-10 trapecio demasiado brillante

2.2.5.1 Revelado Digital con MaxIm DL

Los valores automáticos de de fondo y niveles medios son un buen punto de partida.

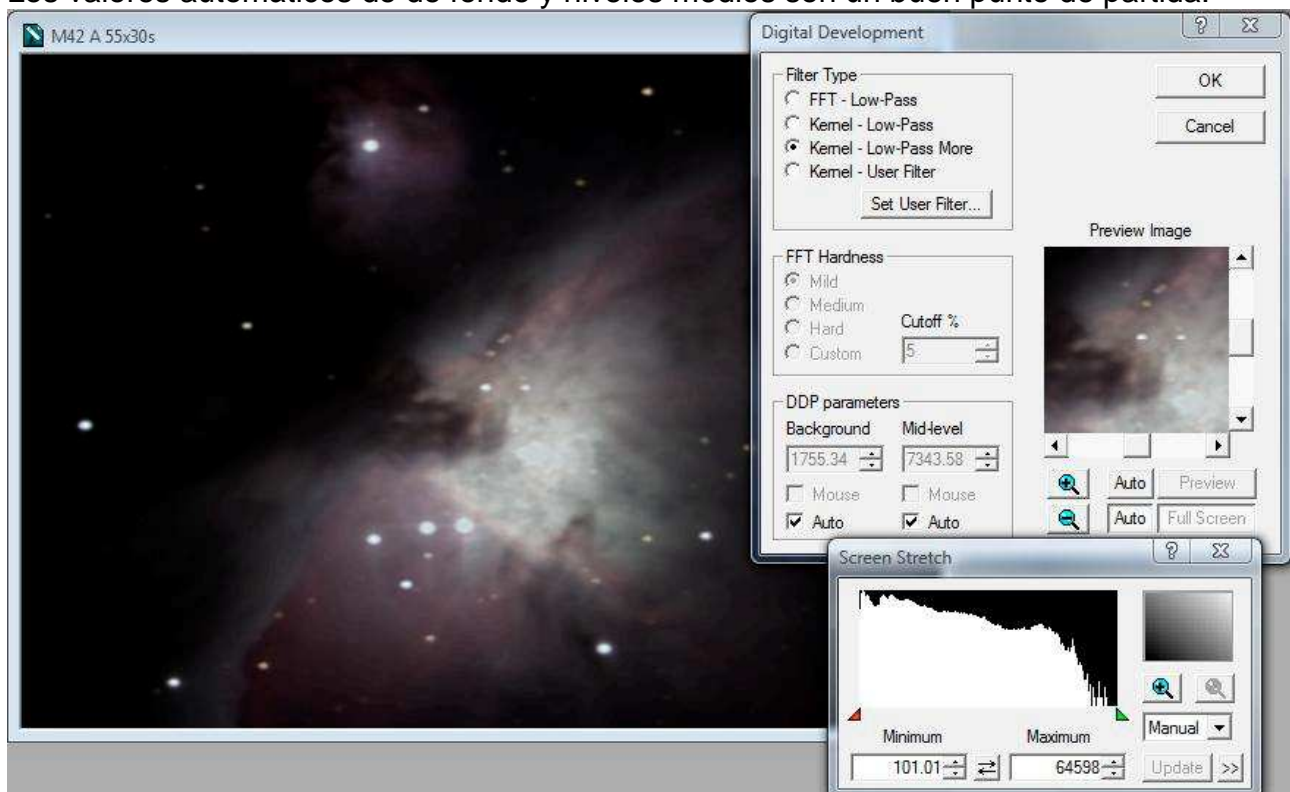


Figura 2-11 Revelado Digital

Los filtros de contraste aplicados pueden mejorar o empeorar la imagen, cuando las estrellas están sobre fondos brillantes, pueden aparecer halos oscuros alrededor de las estrellas si se contrasta demasiado, por lo que en algunos casos se debe limitar el nivel de contraste cambiando los valores por defecto.

Filtro FFT

Con éste filtro se obtiene mayor contraste y menor ajuste de histograma. Se usa cuando es más importante la mejora de contraste.

Dureza de FFT

Regula el grado de enfoque cuando se usa el filtro FFT

Filtro pasabajos

Da un enfoque moderado y mucho ajuste de histograma.

Filtro más pasabajos

Da aproximadamente el mismo ajuste de histograma pero mayor enfoque.

Filtro con filtro del usuario

Permite al usuario definir numéricamente el núcleo del filtro de enfoque. En particular si se define una matriz con un uno central y ceros en los demás puntos, no se realiza ningún enfoque.

Nivel de fondo

Fija el punto negro del histograma

Medio tono

Al igual que en el ajuste de gamma de otros programas, fija el nivel de medio tono, que pasará a tener 50% de brillo.

2.3 Mejoras de apariencia

Las herramientas de enfoque o desenfoque pueden mejorar la apariencia de la imagen. Las máscaras de enfoque son útiles para imágenes con bajo ruido, pero a veces las imágenes de objetos tenues tienen mucho nivel de ruido en algunas zonas y no siempre será conveniente aplicar máscaras de enfoque o al menos no aplicarlas a toda la imagen. El secreto es saber cuánto enfocar, un poco de enfoque puede mejorar la imagen, pero demasiado enfoque puede hacer aparecer efectos indeseables.

2.3.1 Herramientas de suavizado

Aunque parezca ilógico, en algunos casos es conveniente suavizar o desenfocar partes de la imagen, especialmente para eliminar el ruido de fondo.

Las imágenes de Espacio Profundo suelen tener zonas de alta relación señal ruido y otras con menor relación. En las primeras las herramientas de enfoque mejorarán el aspecto

pero para las últimas puede ser útil usar herramientas de suavizado.

El suavizado con filtros pasa bajos (low pass kernel filter) disminuye el contraste entre píxeles cercanos usando una matriz de coeficientes (filtro) para calcular el valor de cada píxel en función de su valor y el valor de los píxeles que lo rodean.

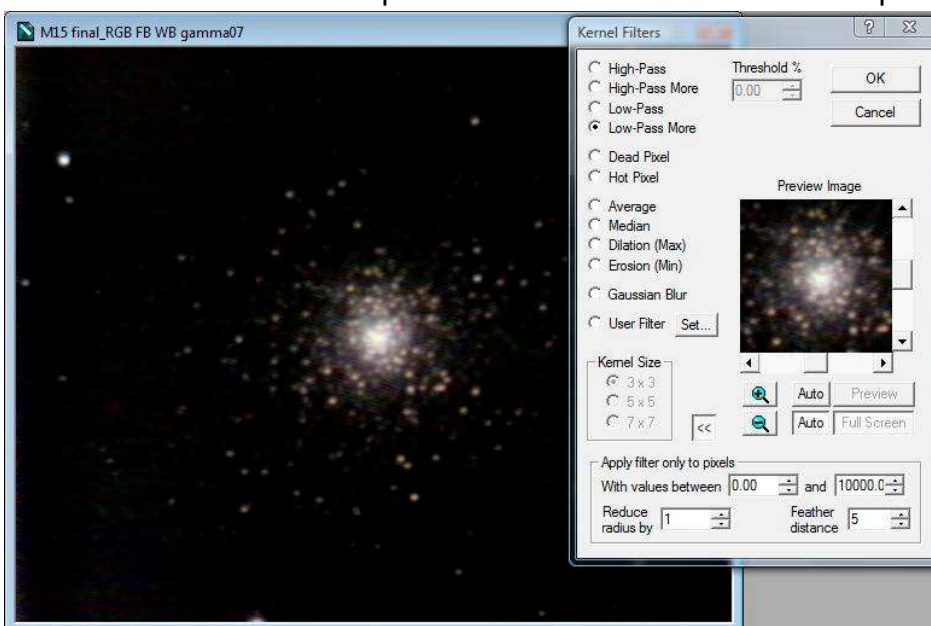


Figura 2-12 Filtro de suavizado

2.3.2 Herramientas de enfoque

Hay dos tipos de herramientas de enfoque: filtros y máscaras.

El enfoque con filtros pasa altos (high pass kernel filter) aumenta el contraste entre pixeles cercanos usando una matriz de coeficientes (filtro) para calcular el valor de cada pixel en función de su valor y el valor de los pixeles que lo rodean.

El enfoque con filtros FFT utiliza un proceso matemático más complicado y tiene un efecto más notorio.

Este tipo de herramienta puede aumentar el ruido de fondo y provocar halos oscuros alrededor de las estrellas.

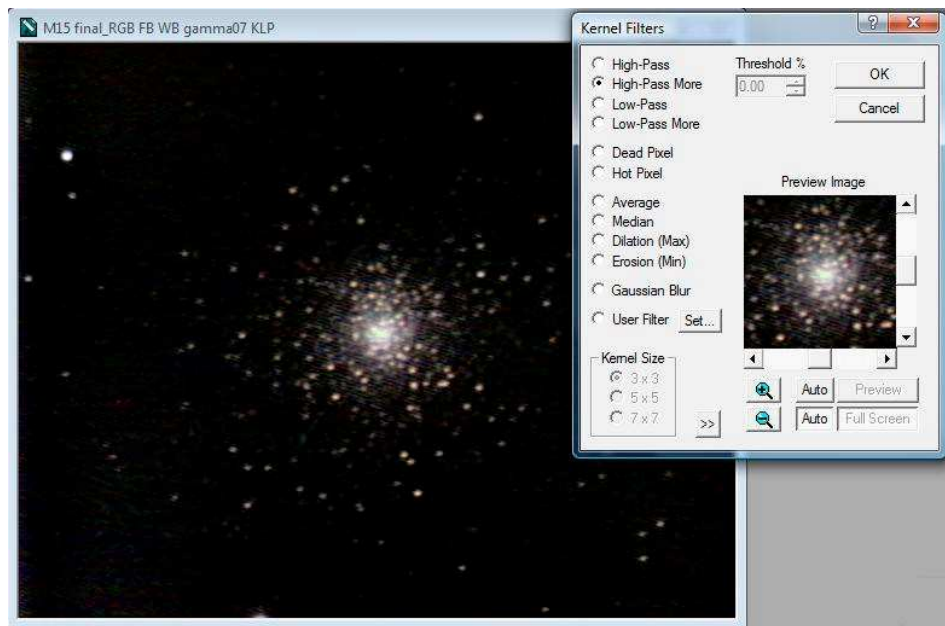


Figura 2-13 Filtro de enfoque

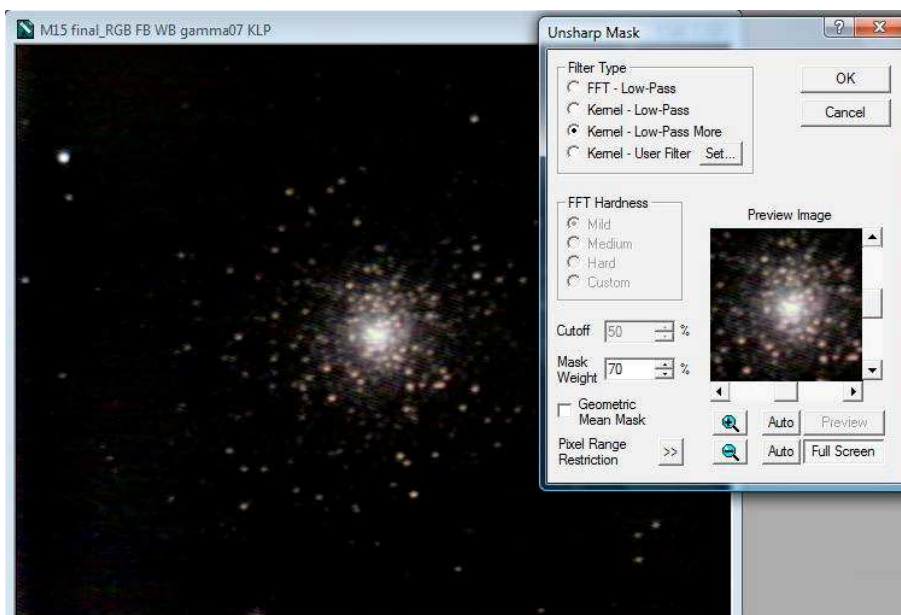


Figura 2-14 Máscara de enfoque

El enfoque con máscaras (unsharp mask) aumenta el contraste realzando la diferencia entre la imagen y una imagen desenfocada con un filtro pasa bajos. En general hay un parámetro de peso de la máscara a aplicar que permite regular el grado de enfoque obtenido. El enfoque con máscaras suele ser más tolerante con el ruido de la imagen, pero si se aplica en forma agresiva causa los mismos efectos indeseables que el enfoque con filtros.

2.3.3 Deconvolución

Es un proceso matemático que intenta recuperar la información original de una imagen desenfocada. Esto se logra modelando el proceso de desenfoco de la imagen como la convolución de la imagen enfocada y una “función de dispersión de punto” (PSF) que define cómo la luz de un punto se dispersa en una imagen no puntual. La deconvolución intenta revertir este proceso y recuperar la imagen enfocada. Por eso es importante que

esta herramienta se use antes de aplicar otras herramientas de postproceso, es decir inmediatamente después del apilado.



Figura 2-15 Deconvolución

Un aspecto crítico de este proceso es la definición de la PSF. Afortunadamente en las imágenes astronómicas, como las estrellas son objetos teóricamente puntuales, la imagen de una estrella nos da una muy buena aproximación a la PSF. Otro aspecto a definir es el nivel de ruido de la imagen, ya que la deconvolución debe aplicarse sólo sobre la señal, no sobre el ruido, por lo que para evitar una amplificación del ruido el proceso se aplica más fuertemente donde la relación señal ruido es mayor. Si se aplica en forma agresiva producirá efectos indeseables como halos oscuros en las estrellas, fondo irregular, etc. Cuando se aplica correctamente se obtienen estrellas con imágenes

más pequeñas y redondas y mayores detalles en las nebulosas y galaxias. El proceso es iterativo y debe experimentarse para obtener el número óptimo de iteraciones.

Algunos programas como [FocusMagic](#) usan un métodos no iterativos, en el cual en lugar de iterar para determinar la PSF más adecuada, se supone una PSF o se estima y se calcula directamente.

En estas fotos de puede verse el resultado de corregir el desenfoque por movimiento. Se aprecia que la forma estirada de las estrellas se corrige y además mejora la nitidez de los detalles de la nebulosa.



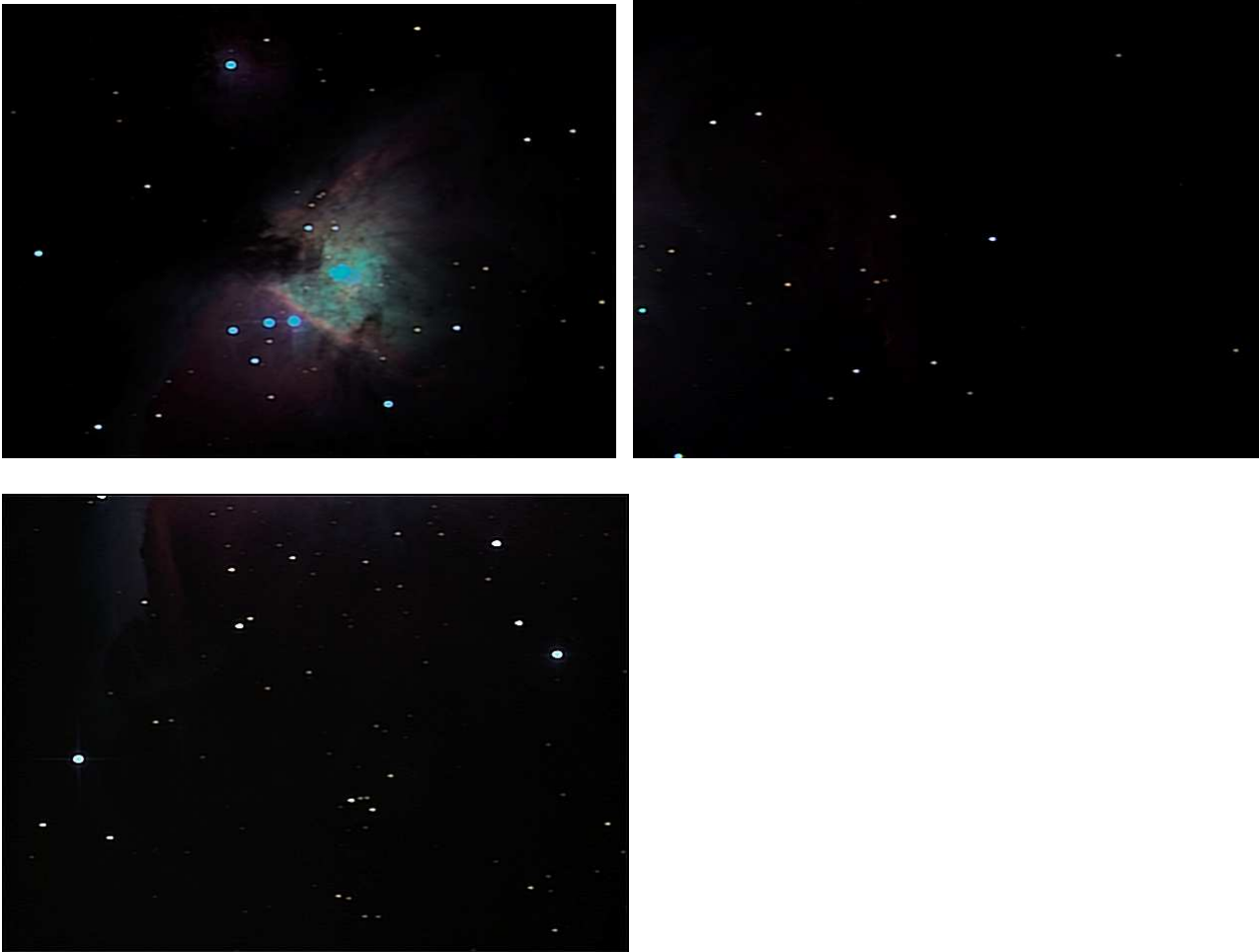
Figura 2-16 Original



Figura 2-17 Movimiento corregido

2.4 Mosaicos

Cuando el campo cubierto por las imágenes individuales no es suficiente para abarcar la zona del cielo que se quiere mostrar, se puede recurrir al armado de mosaicos para crear una imagen compuesta por varias fotografías parcialmente solapadas.



Cada una de las imágenes componentes debe haber sido procesada exactamente de la misma manera para que su aspecto sea lo más parecido posible y no se noten diferencias.

En general los programas permiten hacer ajustes de histograma para optimizar el parecido.

Las imágenes se alinean para coincidir en la zona de solape, en la cual cada una es semitransparente para que la transición sea suave.



Figura 2-18 Mosaico de M42

El programa iMerge (<http://www.geocities.com/jgroveuk/iMerge.html>) permite hacer mosaicos, pero alineando sin rotación de campo.

MaxIm DL tiene una herramienta para hacer mosaicos.

2.5 Otros programas

Aunque no tengo experiencia en su uso, debo mencionar otros programas que suelen usarse para el postprocesamiento:

Photoshop- es muy popular, en especial por quienes usan DSLRs

Gimp- freeware muy recomendado similar a Photoshop

IRIS- freeware muy completo de pre y post procesamiento muy completo y avanzado.

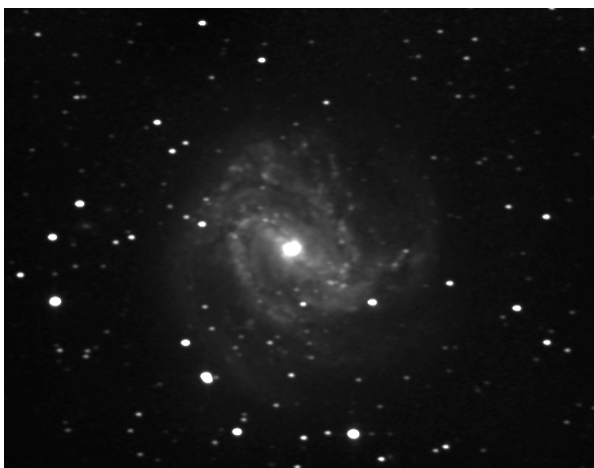
3 Ejemplos



Eta Carina



M 20





M83



Kappa Crucis – dos procesamientos diferentes del mismo apilado