

1 arc min

Introducción a la observación CCD

Nova Cyg 2014, 29/06/14, 00:12, mag 9'72 CR

SC 203 mm F 6'3, CCD qhy6

Observatorio Carda (mpc Z76)

Aula de Astronomía, www.auladeastronomia.es

Contenidos de la sesión

- 1.- ¿Por qué CCD?
- 2.- Algunos campos en los que podemos trabajar
- 3.- ¿Qué instrumental necesitamos?
- 4.- Rutina de observación
- 5.- Repaso a los CCDs
- 6.- Captura y calibrado de imágenes

Ventajas de los dispositivos CCD



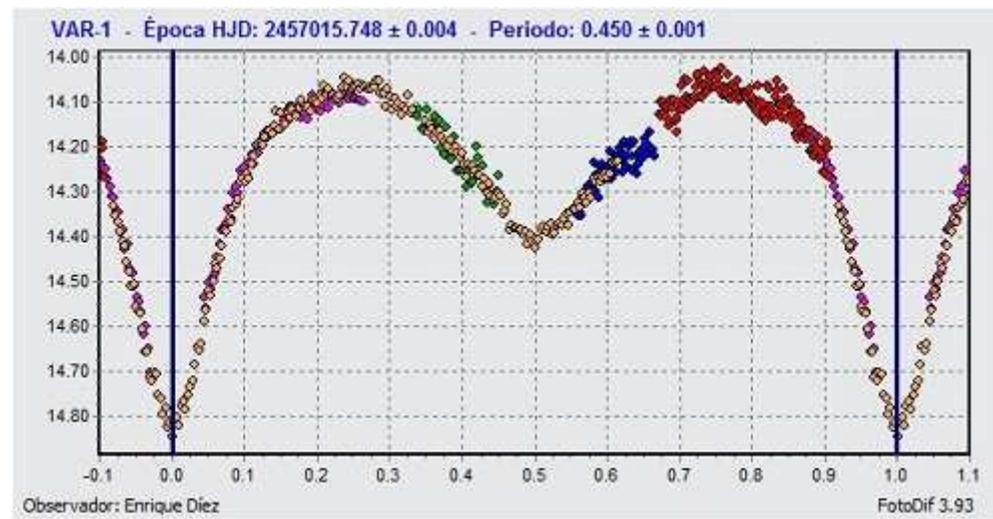
- **Sensibilidad**; fácilmente alcanzamos la mag 16 o más débil en exposiciones cortas y con aberturas modestas
- **Linealidad**; la señal generada en el detector es proporcional a los fotones detectados
- **Precisión** al realizar fotometría ($< 0,01$ mag) y astrometría ($< 0,1''$)
- **Automatización** en la toma de imágenes
- Facilidad de archivado de las imágenes y procesamiento posterior de los datos

Campos de trabajo (I): tiempo disponible

- Algunos campos de observación necesitan muchas horas de observación y noches despejadas (búsqueda de supernovas, búsqueda de cuerpos menores, búsqueda y caracterización de estrellas variables...)
- Ciertos campos exigen de varias horas seguidas en condiciones muy estables, como los exoplanetas
- Otros requieren menos tiempo de observación y se adaptan más a nuestra meteorología: cuerpos menores, supernovas, estrellas dobles...

Campos de trabajo (I): estrellas variables

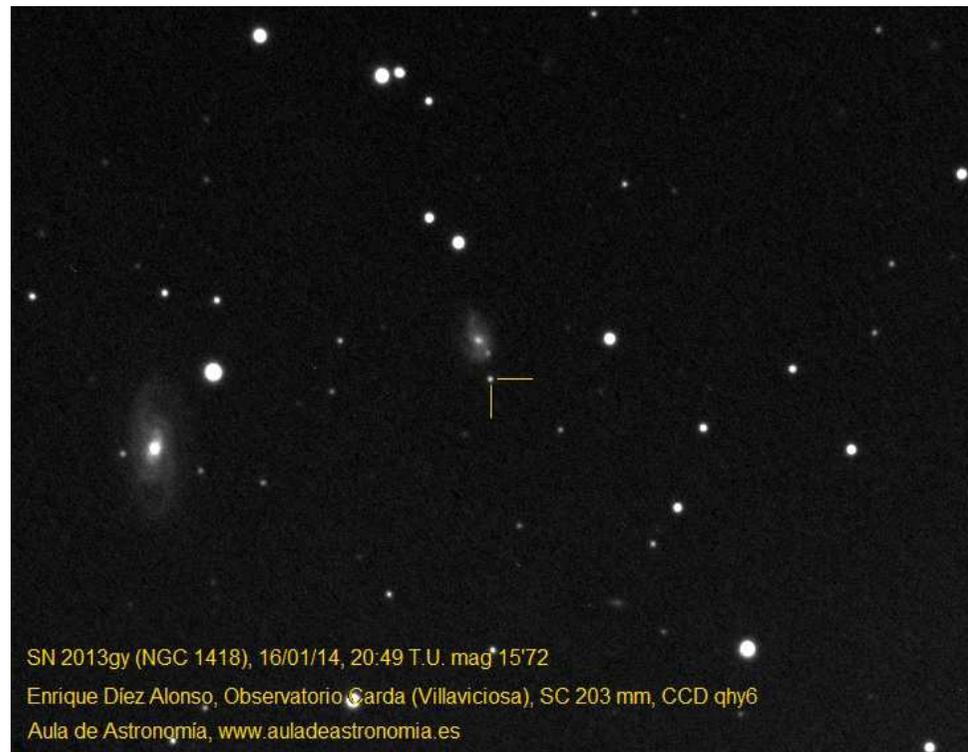
- Fotometría de estrellas variables conocidas (medir una estrella puede llevarnos minutos)
- Búsqueda y caracterización de estrellas variables desconocidas (mucho tiempo)



000-BLM-392, 6 noches, unas 25 horas...

Campos de trabajo (II): supernovas

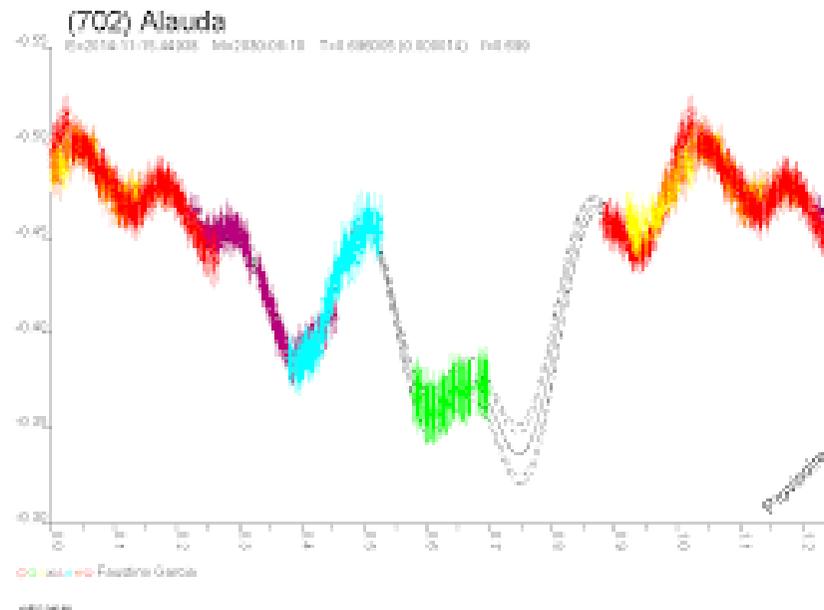
- Fotometría de supernovas conocidas (poco tiempo)
- Búsqueda de nuevas supernovas (mucho tiempo; se estima que una por cada mil campos analizados)



SN 2013gy

Campos de trabajo (III): cuerpos menores

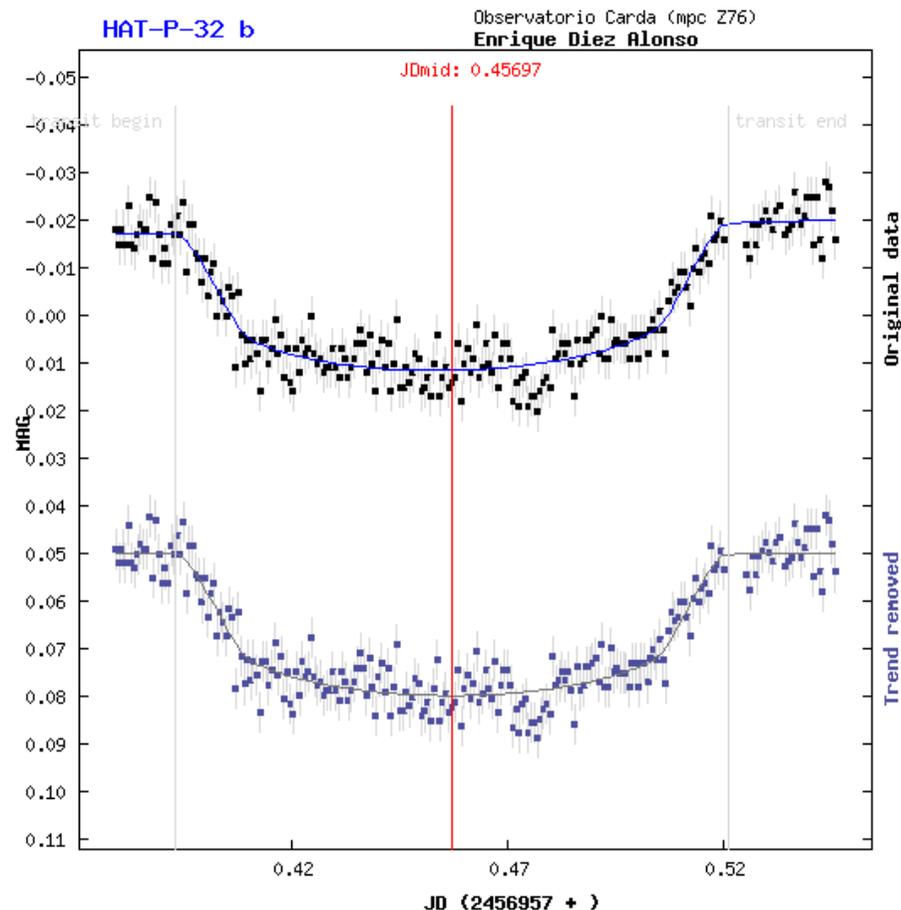
- Fotometría y astrometría de cuerpos menores: cometas, asteroides, TNOs (poco tiempo)
- Búsqueda de nuevos cuerpos menores (mucho tiempo, aberturas *grandes*)
- Curvas de rotación de asteroides (mucho tiempo)



702 Alauda, F. García

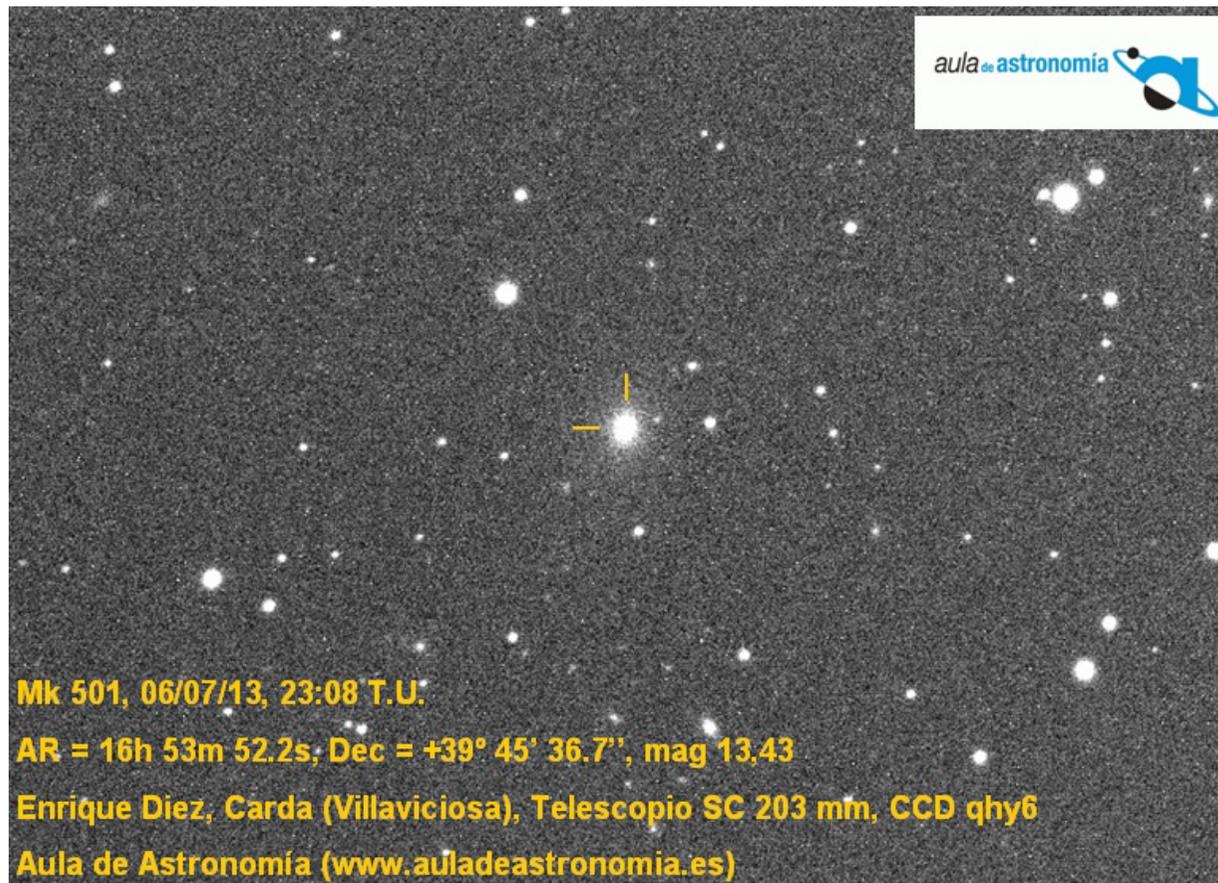
Campos de trabajo (IV): exoplanetas

- Observación del tránsito de exoplanetas por delante de sus estrellas (varias horas con condiciones de observación muy estables)



Campos de trabajo (V): galaxias activas

- Fotometría de cuasares y otros tipos de galaxias activas (poco tiempo)



Campos de trabajo (VI): estrellas dobles

- Astrometría y fotometría de estrellas dobles *olvidadas* (poco tiempo)



Estrella doble STF 38; AR: 0 35 27,3, Dec: + 58 40 42
SC 203 mm, F6'3, CCD qhy6
Enrique Díez, Observatorio Carda (mpc Z76)

Campos de trabajo (VII): planetaria y heliofísica

- Seguimiento de la actividad de las atmósferas de Júpiter y de Saturno, geografía de Marte, actividad solar... Mediante la técnica de grabación de vídeo (poco tiempo)



Campos de trabajo (VII): planetaria y heliofísica



Marte, 07/04/14, 01:18 T.U.
SC 203 mm + Televue 3x, cámara qhy5
Enrique Díez, Observatorio Carda



Saturno, 17/05/14, 01:00 T.U.

Imagen RGB tomada con telescopio SC 203 mm, Televue 3x, cámara qhy5

Observatorio astronómico Carda

Campos de trabajo (VIII): astrofotografía

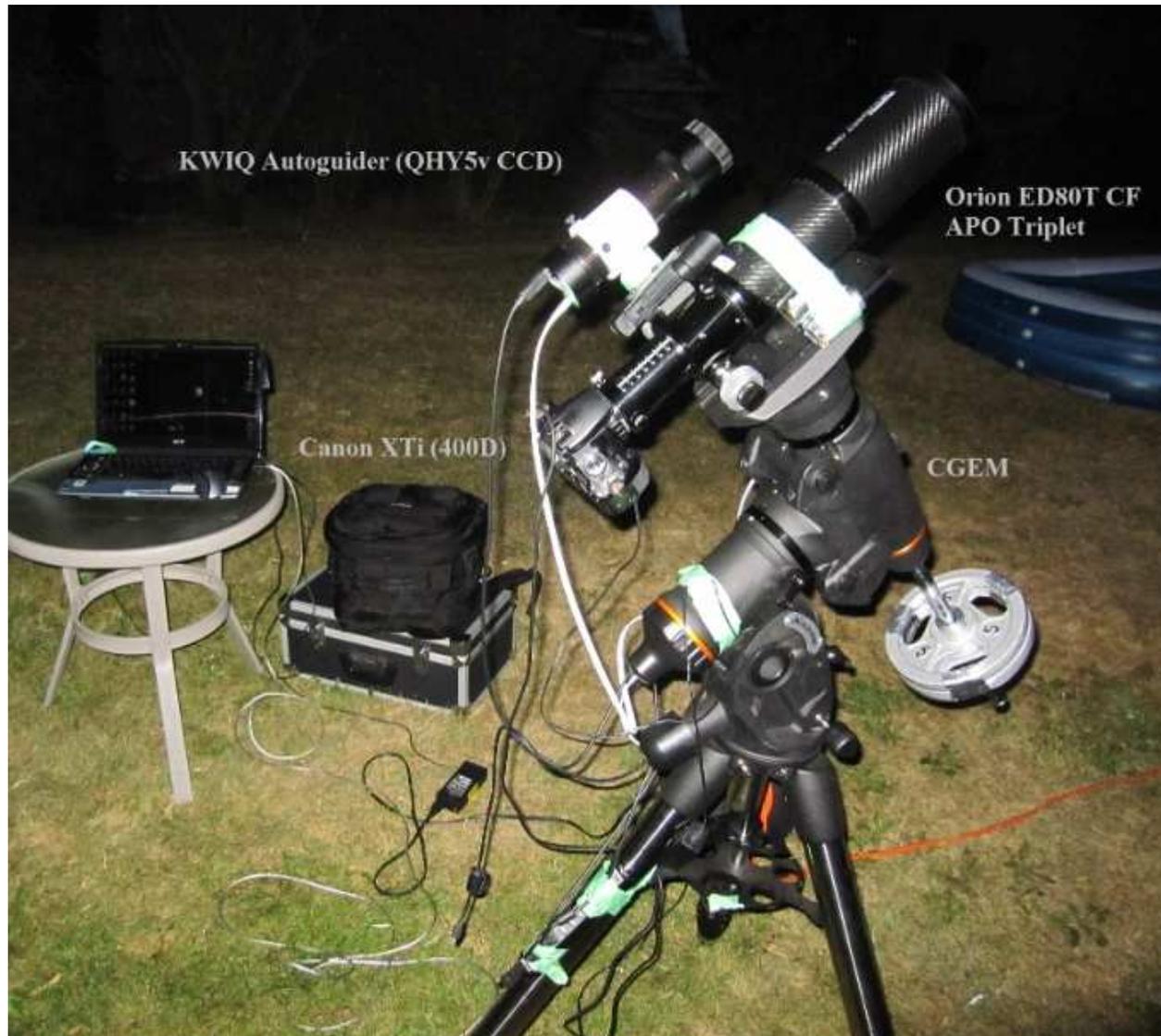
Astrofotografía mediante cámaras mono (filtros para obtener imágenes en color) o color. Varias horas.



¿Qué necesitamos?

- Con un telescopio de 80 mm ya alcanzamos la mag 15 ó 16 con exposiciones de 1' ó 2'
- Montura computerizada que podamos guiar y que permita apuntar fácilmente a los objetos
- Tubo y cámara guía en paralelo (algunas CCD pueden guiar con doble chip)
- Cámara CCD
- PC con todo el software necesario. Conexión a internet.

¿Qué necesitamos?



Rutina de observación (I): Estacionamiento

- Montamos el equipo estacionando lo mejor que podamos.
- Aunque guiemos, necesitamos un estacionamiento lo más perfecto posible. Esto lo podemos conseguir con eqalign (www.eqalign.net)



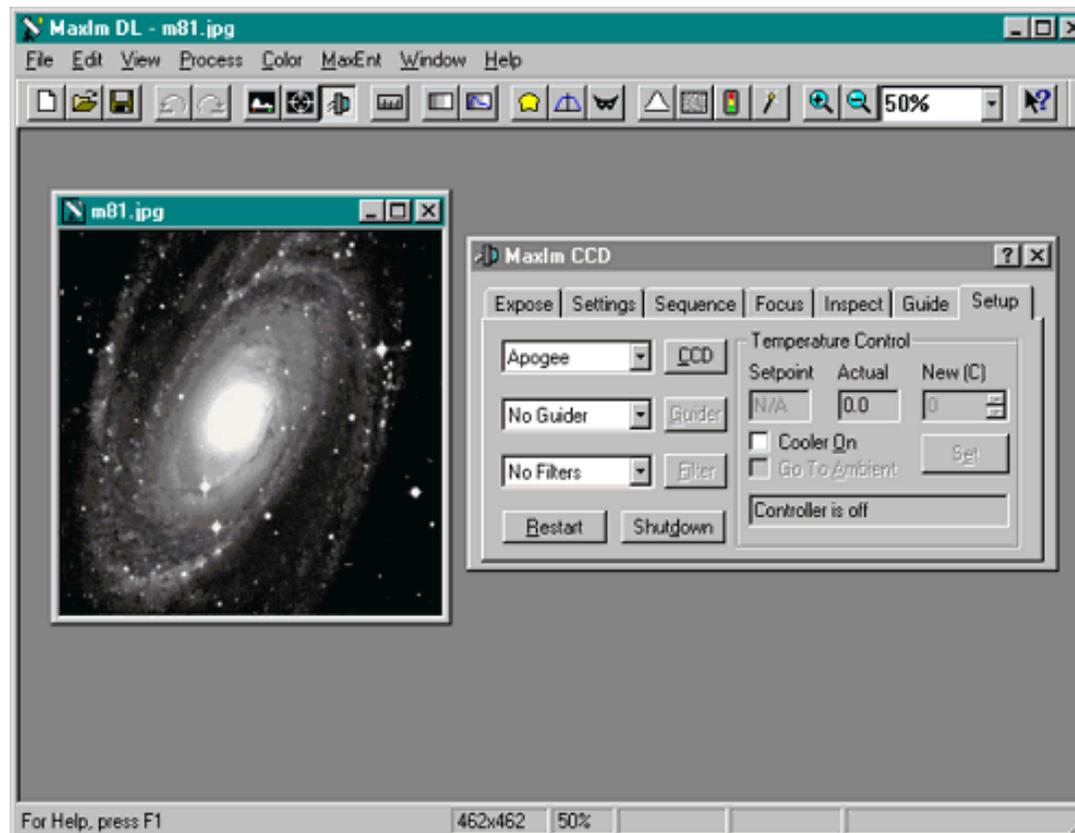
Rutina de observación (II): Control del telescopio

- Conectamos la montura con un software planetario para dirigir el telescopio. Por ejemplo la combinación *Cartes du Ciel* (<http://www.ap-i.net/skychart/es/start>) + *EQmod* (<http://eq-mod.sourceforge.net/>)



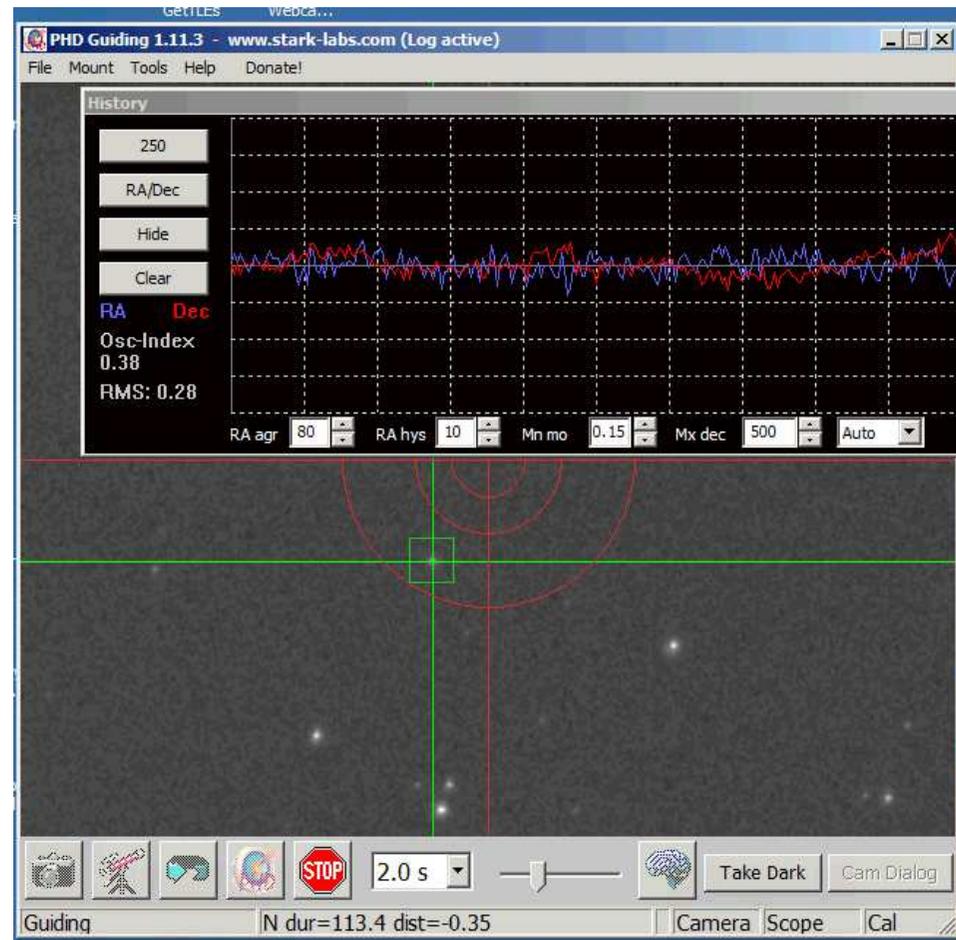
Rutina de observación (III): Control de la CCD

- Necesitamos un software de captura de imágenes. El *maxim dl* es una buena opción. Conectamos la ccd y comenzamos a tomar imágenes de manera continua cada segundo, por ejemplo.



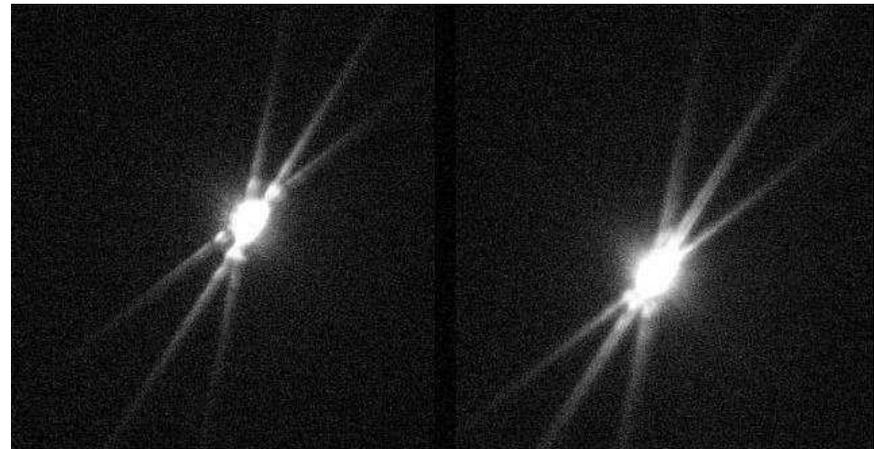
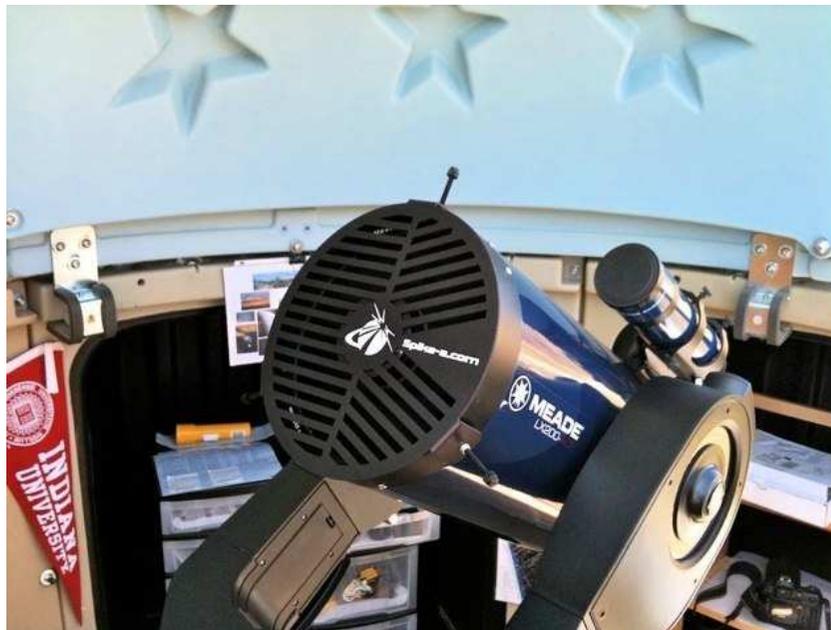
Rutina de observación (IV): cámara guía

- Conectamos la cámara de guiado. Para esto podemos usar *phdguiding* (www.stark-labs.com/phdguiding.html)



Rutina de observación (V): enfoque y sincronizar

- Para apuntar es conveniente enviar el telescopio a una estrella brillante próxima a nuestro objetivo. Una vez centrada en el campo de la CCD, enfocamos con una máscara (*Bahtinov*). Centramos bien la estrella y sincronizamos.
- En este punto aprovechamos para enfocar la cámara guía.

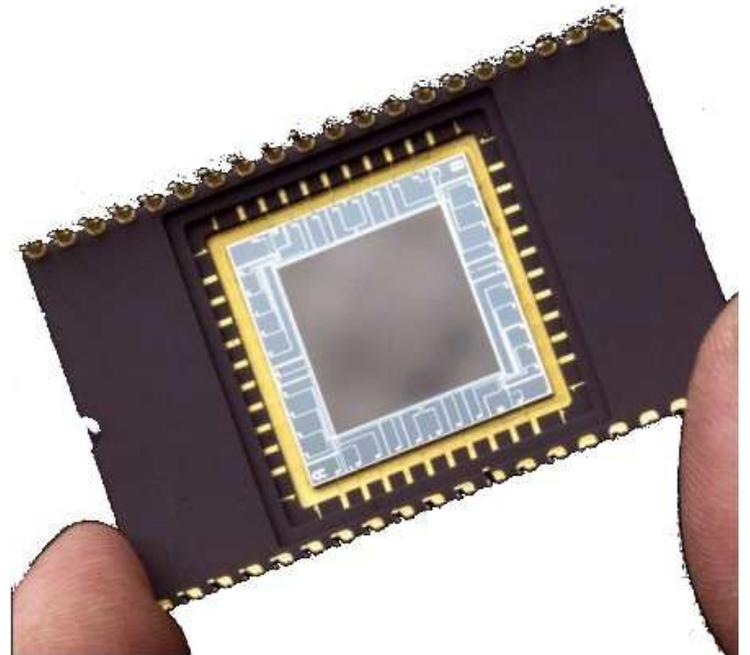


Rutina(VI): apuntar y toma de imágenes

- Con el Cartes du Ciel enviamos el telescopio a nuestro objetivo.
- Con imágenes de pocos segundos ya tenemos que reconocer el campo. Para esto es útil la opción *DSS* en el Cartes du Ciel, o *Pin point astrometry* en el maxim.
- Una vez reconocido y centrado el objetivo ponemos a calibrar el phd guiding. Finalizado el calibrado comenzamos a guiar.
- Con el maxim indicamos el lote de imágenes que vamos a tomar (número, tiempo de exposición, carpeta...). Y a capturar.

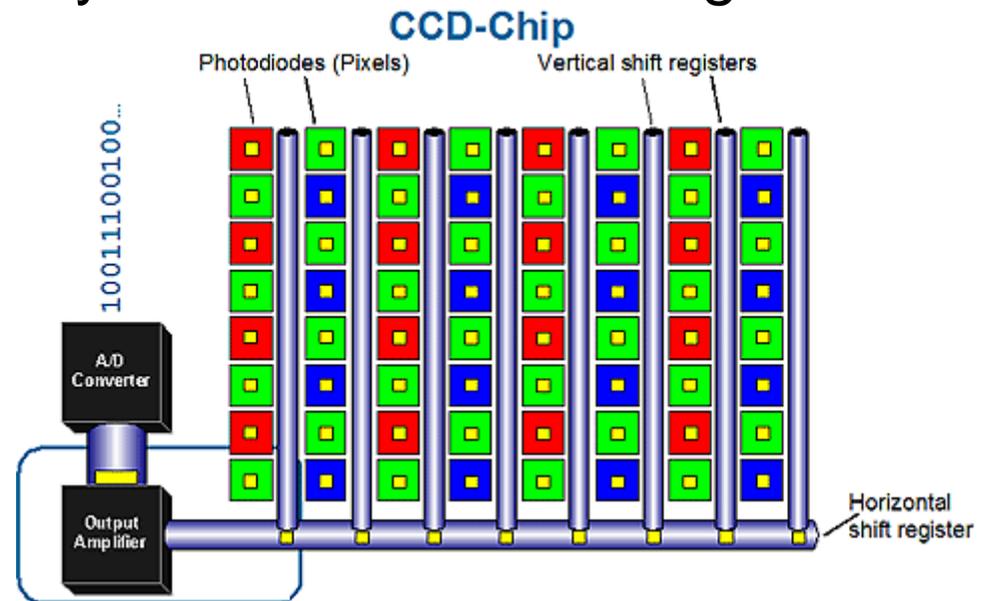
Repaso a los CCDs

- Repasemos cómo es un CCD y sus parámetros principales.



CCDs: funcionamiento y linealidad

- Un CCD consiste en una malla de pixeles de silicio. Los fotones incidentes arrancan electrones que son acumulados en cada pixel mediante un electrodo. La carga es leída al final de la exposición, traducida a un valor y creando así una *imagen*.



- Cada pixel tiene un amplio rango de comportamiento lineal; la carga acumulada es directamente proporcional al número de fotones incidentes. Esto es fundamental para hacer fotometría.

CCDs: lectura y cuentas

- Cuando finaliza la exposición, la lectura se realiza transfiriendo la carga acumulada en cada pixel a la columna adyacente, leyéndose de cada vez la última columna pixel a pixel.
- El conversor AD transforma esa carga en un número que va de 0 a 2^n (*rango dinámico*) Son las *cuentas* o *ADUs*. Así se crea la imagen.
- Por ejemplo, un conversor AD de 16 bits puede asignar a cada pixel un rango de intensidades en función de la carga acumulada que va desde 0 a 2^{16} (= 65535).

CCDs: capacidad del pixel y saturación

- El número de electrones que se almacenan en un pixel durante la exposición viene dado por:

$$n^{\circ} e^{-} = (n^{\circ} \text{ fotones incidentes}) \times (\text{Eficiencia Cuántica})$$

- El *Full Well Capacity* es el número máximo de electrones que puede albergar cada pixel. Típicamente es del orden de $10^4 - 10^5$ e-/pixel. Si el número de electrones generados es mayor, el pixel se *satura* y esta carga extra puede desbordarse hacia pixeles adyacentes; es el *blooming*.



CCDs: ganancia

- Vimos antes que:

$$n^{\circ} e^{-} = (n^{\circ} \text{ fotones incidentes}) \times (\text{Eficiencia Cuántica})$$

- Pero además...

$$n^{\circ} e^{-} = \textit{ganancia} \times \textit{cuentas}$$

- La *ganancia* de la cámara indica cuántos electrones hacen falta para que el conversor AD sume una cuenta a ese número que finalmente asignará a cada pixel. Es regulable. Por ejemplo en la CCD Luna qhy 6 va de 0'1 (ganancia máxima, 1 e⁻ genera 10 cuentas) a 0'5 (ganancia mínima, 1 e⁻ genera 2 cuentas).

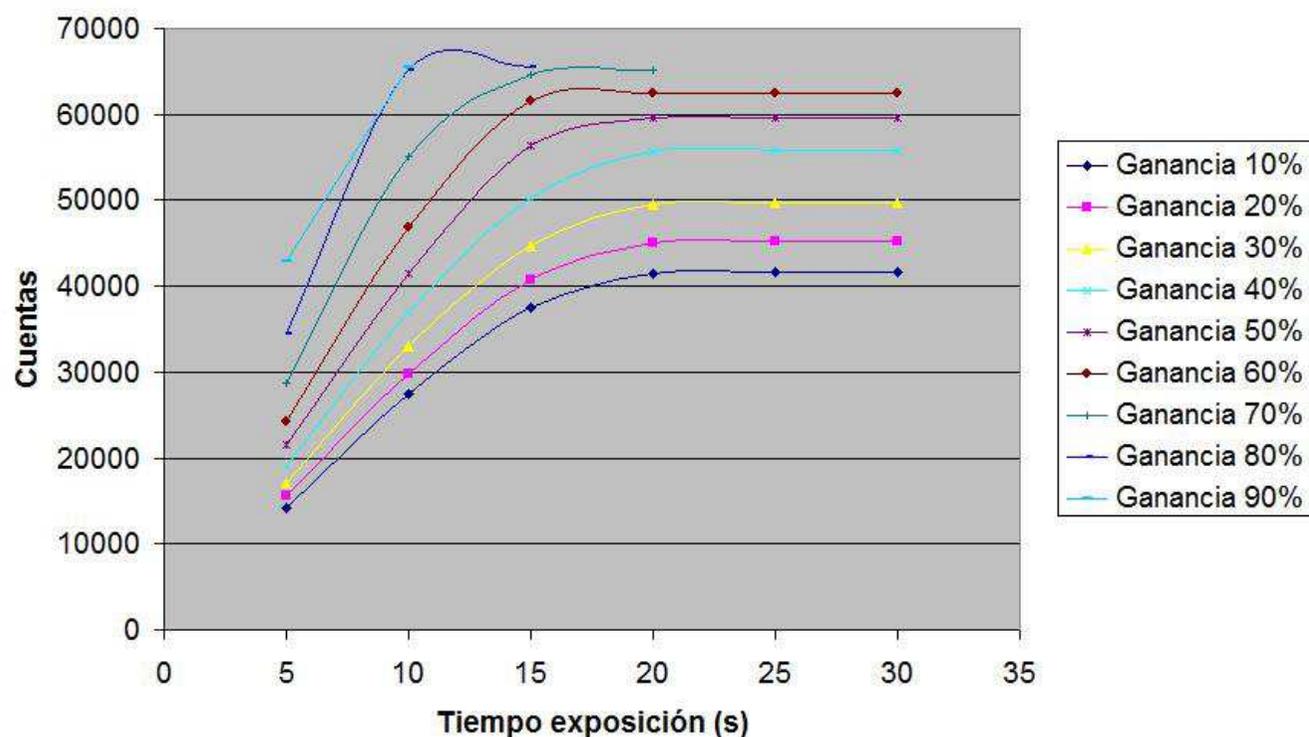
CCDs: ganancia óptima

- Conocer la ganancia óptima de trabajo en nuestra cámara es fundamental; si está demasiado alta, pocos electrones en cada pixel generan un número de cuentas mayor que el soportado por el conversor AD, y no aprovechamos la capacidad de cada pixel.
- Al contrario, si es demasiado baja cada pixel se llenará de carga y se saturará sin que toda esta carga equivalga al número máximo de cuentas que puede soportar el conversor AD.

CCDs: pruebas de linealidad

- Hemos de realizar *pruebas de linealidad* hasta encontrar aquella ganancia para la cual la cámara deja de tener un comportamiento lineal (i.e. el pixel próximo a saturarse) cerca del límite del rango dinámico de la cámara (65535 en 16 bit).

Gráfico linealidad Qhy 6



CCDs: antiblooming

- Algunas cámaras tienen *antiblooming*, un mecanismo que evita que el pixel se sature de carga y esta sea vertida a pixeles contiguos. Esto lo hace generando menos e⁻ arrancados según el pixel se acerca a la saturación, pero de este modo se viola la linealidad y por lo tanto estas cámaras no son apropiadas para fotometría, aunque sí para astrofotografía.



CCDs: FWHM

- El *seeing* provoca que una estrella presente un tamaño angular aparente determinado. El *FWHM* (*full width at half maximum* o *anchura a media altura*) es el tamaño angular que presenta considerando los pixeles cuyo valor es la mitad del máximo.



- El FWHM es una medida del tamaño angular de una estrella. Generalmente es mucho mayor que el poder de resolución del telescopio, y limita su poder resolutivo teórico.

CCDs: resolución óptima

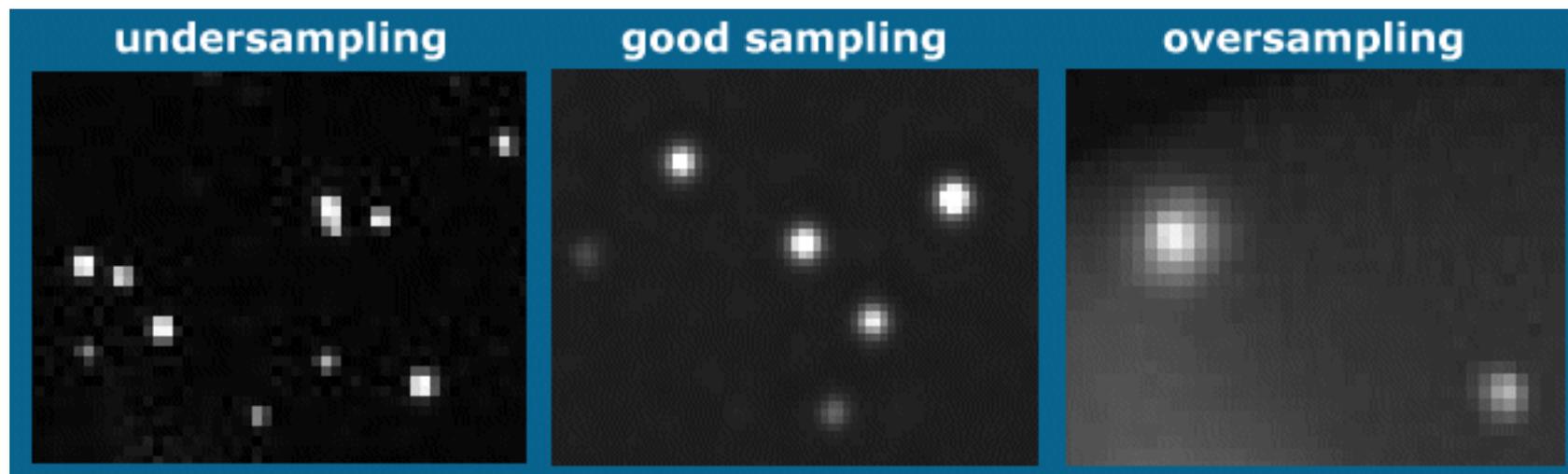
- Es interesante trabajar con un conjunto óptica + CCD tal que la resolución en "/pixel sea 1/2 ó 1/3 la FWHM. Así conseguimos estrellas *bien muestreadas* y optimizamos la fotometría y la astrometría. Este es un factor a tener en cuenta al elegir nuestro conjunto *óptica + CCD*.

Resolución ("/px) = (tamaño px en mm) x (206265) / Focal telescopio (mm)

- Esta resolución en "/px depende del tamaño del pixel y de la focal del telescopio. Podemos variarla mediante reductores o multiplicadores de focal, también mediante el *binning*, que consiste en aunar pixeles en 2x2, 3x3... trabajando a la vez. Así conseguimos pixeles de mayor tamaño.

CCDs: resolución óptima

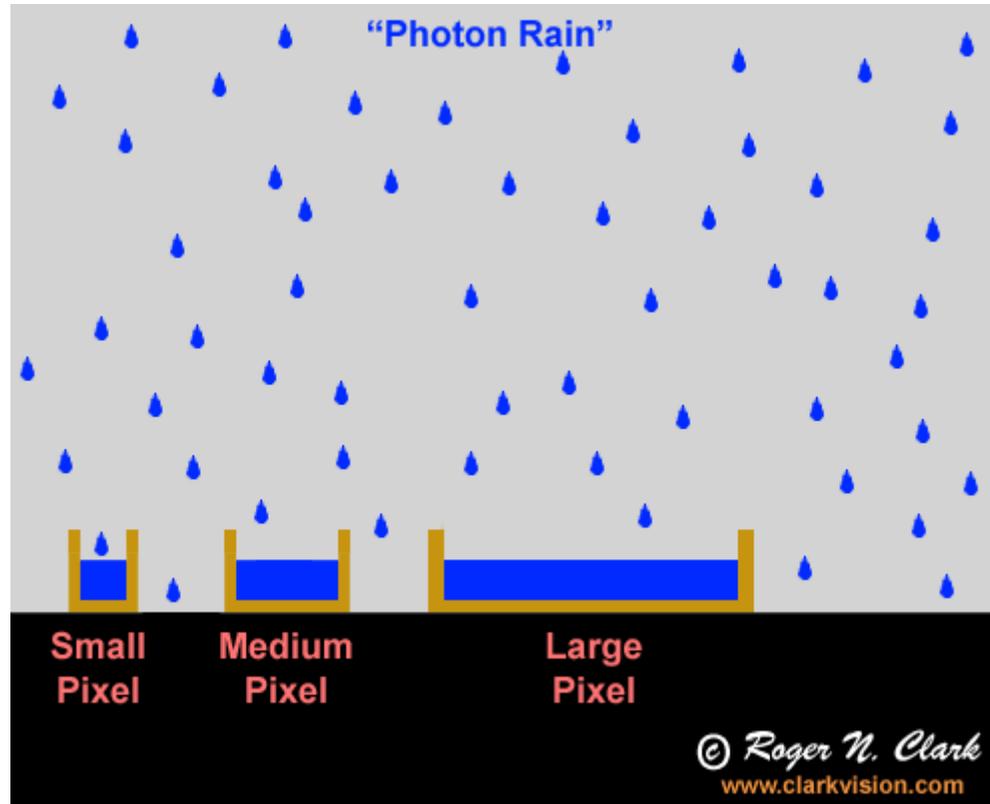
- Si la resolución de cada pixel es $<$ que $1/2$ ó $1/3$ del FWHM (por ejemplo, $0.5''/\text{px}$ si FWHM es $5''$) las estrellas están sobremuestreadas. Aparecen problemas de ruido de lectura, baja relación S/N, poco campo en el detector...
- Si la resolución es $>$ que $1/2$ ó $1/3$ del FWHM (ej: $3''/\text{px}$ si FWHM es $5''$) tenemos muestreo insuficiente. Los pixeles pueden saturarse antes, la resolución puede ser insuficiente...



CCDs: resolución óptima, ejemplo

- Por ejemplo, un C8 (2030 mm de focal) con CCD qhy6 (tamaño pixel 0,006 mm) da una resolución de 0,61"/px. Si la FWHM ronda los 3" esto origina sobremuestreo. Además, el campo es muy pequeño ya que la cámara tiene 752 x 582 px, lo que da 7,6' x 5,9'.
- Podemos poner un reductor a F6. De este modo la focal será de 1200 mm y tenemos resolución de 1"/px. Justo 1/3 FWHM. Además el campo aumenta a 12,5' x 9,7'. Pero ojo, el reductor produce viñeteo.
- Si activamos el binning 2x2 (sin reductor) aumentamos el tamaño del pixel a 0,012 mm y resulta una resolución de 1,22"/px, pero el tamaño del campo es el mismo, sigue siendo 7,6' x 5,9'. El que sea pequeño hoy en día no es mucho problema por los catálogos estelares que usamos para hacer fotometría y astrometría. Siempre hay estrellas.

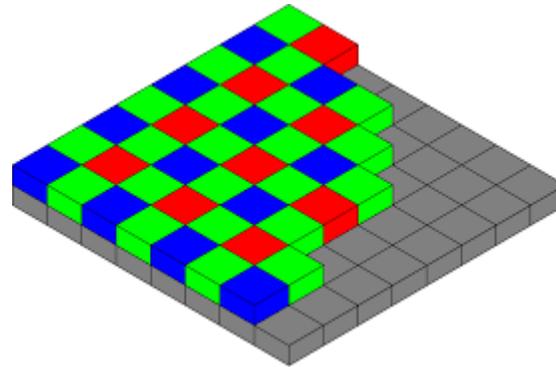
CCDs: tamaño del pixel



- Cuanto mayor sea el tamaño de los pixeles menor es el ruido asociado a la llegada aleatoria de los fotones.

CCDs color

- Las cámaras CCD color tienen un filtro R, G ó B delante de cada pixel (*matriz de Bayer*), combinándolos para componer la imagen final. Por lo tanto su resolución es inferior a una cámara mono.



- Por llevar estos filtros, no son válidas para realizar medidas fotométricas, ni tampoco se puede hacer fotografía de banda estrecha con filtros específicos.
- La fotografía color es más laboriosa en cámaras mono (más exposiciones, rueda, filtros, más tiempo de procesado...) pero permiten hacer astrofotografía con filtros específicos de banda estrecha (además de astrometría y fotometría).

CCDs color

- Su uso se reduce a la astrofotografía; una sola exposición ya nos da la imagen final, no hemos de usar rueda portafiltros y diferentes exposiciones con cada filtro (menos tiempo de trabajo fotografiando).



M 20 con la CCD color qhy 8

CCDs: ruido y relación S/N

- En los CCDs se genera carga (y cuentas en la imagen) que no se corresponden con fotones procedentes de los objetos astronómicos. Es el *ruido* (térmico, de lectura (*), fondo del cielo, aleatoriedad en la llegada de la propia señal...)
- El cociente entre la señal que buscamos y el ruido es la relación *señal ruido* (S/N). Si la señal alcanza un valor de N cuentas tras un tiempo de exposición, en ese mismo tiempo el ruido va como $N^{1/2}$. Por eso, al aumentar el tiempo de exposición aumenta la S/N.
- Además, la incertidumbre en la medida (en %) va como $1/(S/N)$. Por ejemplo, en una medida en la que obtenemos una S/N de 50, el error es de $1/50 = 2\%$. Menor cuanto mayor S/N.

() El ruido de lectura se mide en e^-/px y es otro parámetro a tener en cuenta en las prestaciones de un CCD.*

CCDs: promediado de imágenes

- Además la S/N mejora promediando imágenes; si en una imagen tenemos $S/N = s/r$, promediando n imágenes como ella obtenemos una imagen con $S/N = n^{1/2} \times (s/r)$.
- Por ejemplo, promediando 4 imágenes cada una con $S/N = 10$, obtenemos una imagen final con $S/N = 20$ (dentro de la linealidad es similar promediar n imágenes de tiempo t que tomar una sola imagen de tiempo nxt).

CCDs: darks

- Cada una de las imágenes que tomemos ha de ser calibrada. Hay tres tipos de imágenes de calibración, la primera de ellas es la de los *darks*.
- Tienen en cuenta el ruido térmico del CCD, la carga que se genera en el sensor durante la exposición por estar a una temperatura determinada (por eso los CCDs se enfrían).
- Se toman con la tapa del telescopio puesta, a la misma temperatura que se han tomado las imágenes de luz si esta es regulable. Si no, podemos tomar la mitad al inicio de la sesión y la otra mitad al final.
- Idealmente su tiempo de exposición ha de ser igual al de las imágenes que vamos a calibrar, aunque tenemos la posibilidad de *escalarlos*.
- Cuanto mayor número de darks tomemos, mayor será la relación S/N del dark promedio, que será el que **sustraigamos** a nuestras imágenes. Suele recomendarse que el tiempo de exposición conjunto de los darks sea como mínimo cinco veces superior que el tiempo de exposición de la imagen a calibrar.

CCDs: bias

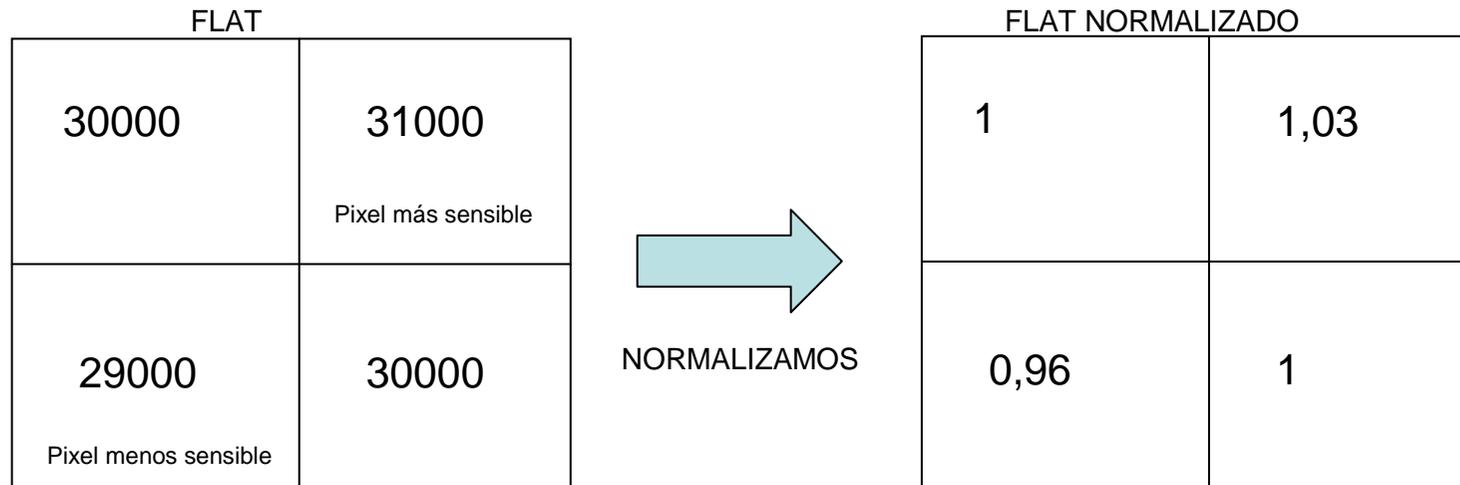
- La segunda clase es la de los *bias*.
- En las imágenes CCD se introduce a propósito un número pedestal de cuentas en cada pixel. El motivo es evitar que el ruido de lectura ocasione valores negativos para las cuentas.
- Este nivel mínimo de cuentas ha de **restarse** también de cada imagen, y para ello se toman y promedian las imágenes *bias*, con tiempo de exposición nulo. Igualmente, cuantas más tomemos mayor S/N del bias promedio que usaremos.
- Si usamos lights y darks del mismo tiempo de exposición, no es necesario calibrar los bias ya que se cancelan al restar el dark del lighth. Si los darks y los lights son de distinto tiempo de exposición, hemos de tomar los bias ya que así el software sabe que parte del dark es ruido y que parte es bias, y al restar el bias es capaz de escalar el ruido.

CCDs: flats

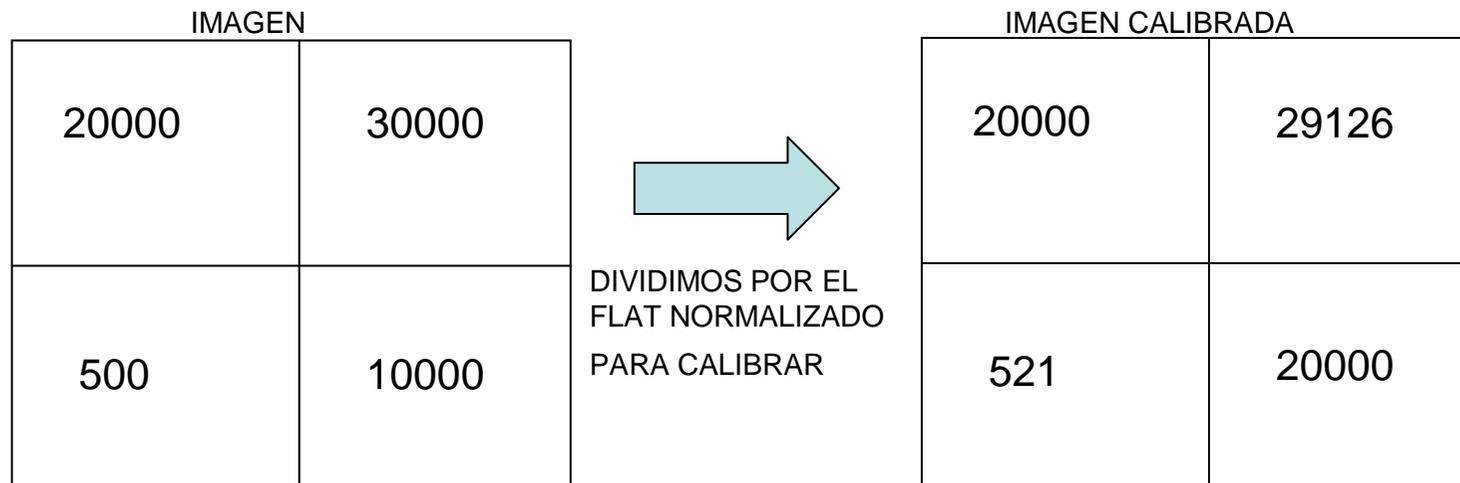
- La tercera es la de los flats (campo plano)
- Diferentes pixeles de un CCD responden de manera ligeramente diferente frente a una misma iluminación. Además en el sensor se crean sombras a causa de polvo, viñeteos, reflejos... Esto hemos de corregirlo para hacer fotometría.
- Los flats se toman iluminando homogéneamente el sensor: una tela blanca sobre objetivo del telescopio, exponiendo al crepúsculo, sobre la cúpula... hasta obtener el número medio de cuentas (30.000).
- Cuantos más flats tomemos mejor será su promedio. Y ojo, hemos de corregirlos con sus correspondientes darks del mismo tiempo de exposición.
- Finalmente el software normaliza este mapa de iluminación que es el flat promedio y divide el valor de cada pixel de nuestras imágenes por el correspondiente valor que ese mismo pixel tiene en el flat promedio.

CCDs: flats

- Imaginad que iluminamos homogéneamente el chip de un CCD y resulta esto:



- Ahora obtenemos una imagen astronómica sin calibrar con estos valores:



Repaso a los CCDs

- Finalmente la imagen calibrada es:

Img calibrada: $(\text{imagen cruda} - \text{dark promedio}) / (\text{flat promedio})$

... teniendo en cuenta que si los darks y las imágenes a calibrar no tienen el mismo tiempo de exposición, hemos de introducir los bias también.