
Fotografía del cielo

— Introducción y técnicas —

Objetivos

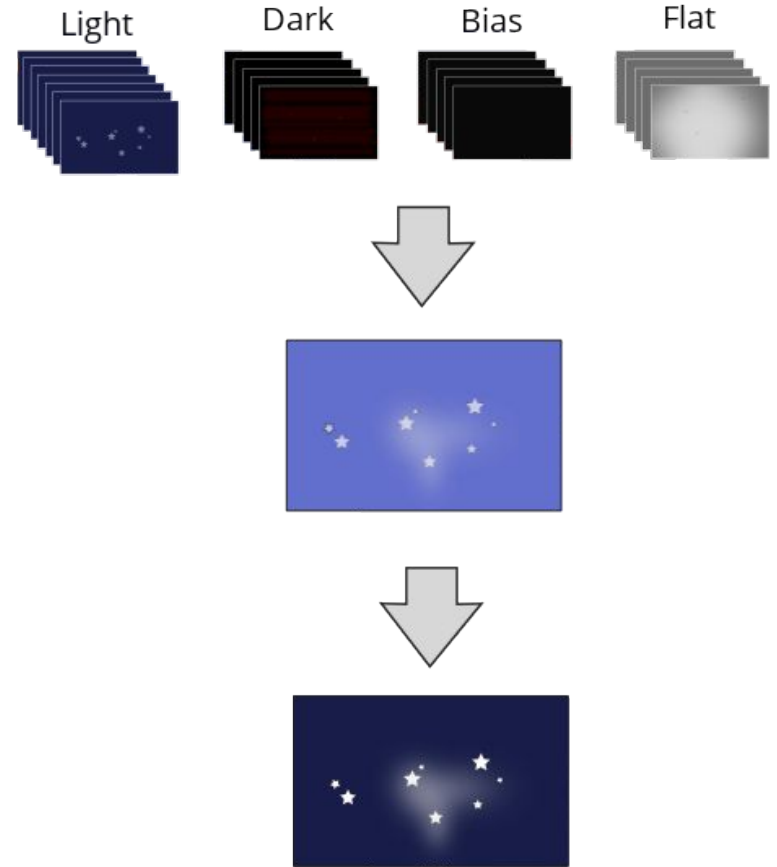
Introducir** al grupo de aficionados en algunos **conceptos básicos** de fotografía del cielo y las técnicas de adquisición para que **puedan hacer sus propias fotografías** con los **materiales que disponen.

***Motivar** a los integrantes para hagan su propias fotos del cielo.*

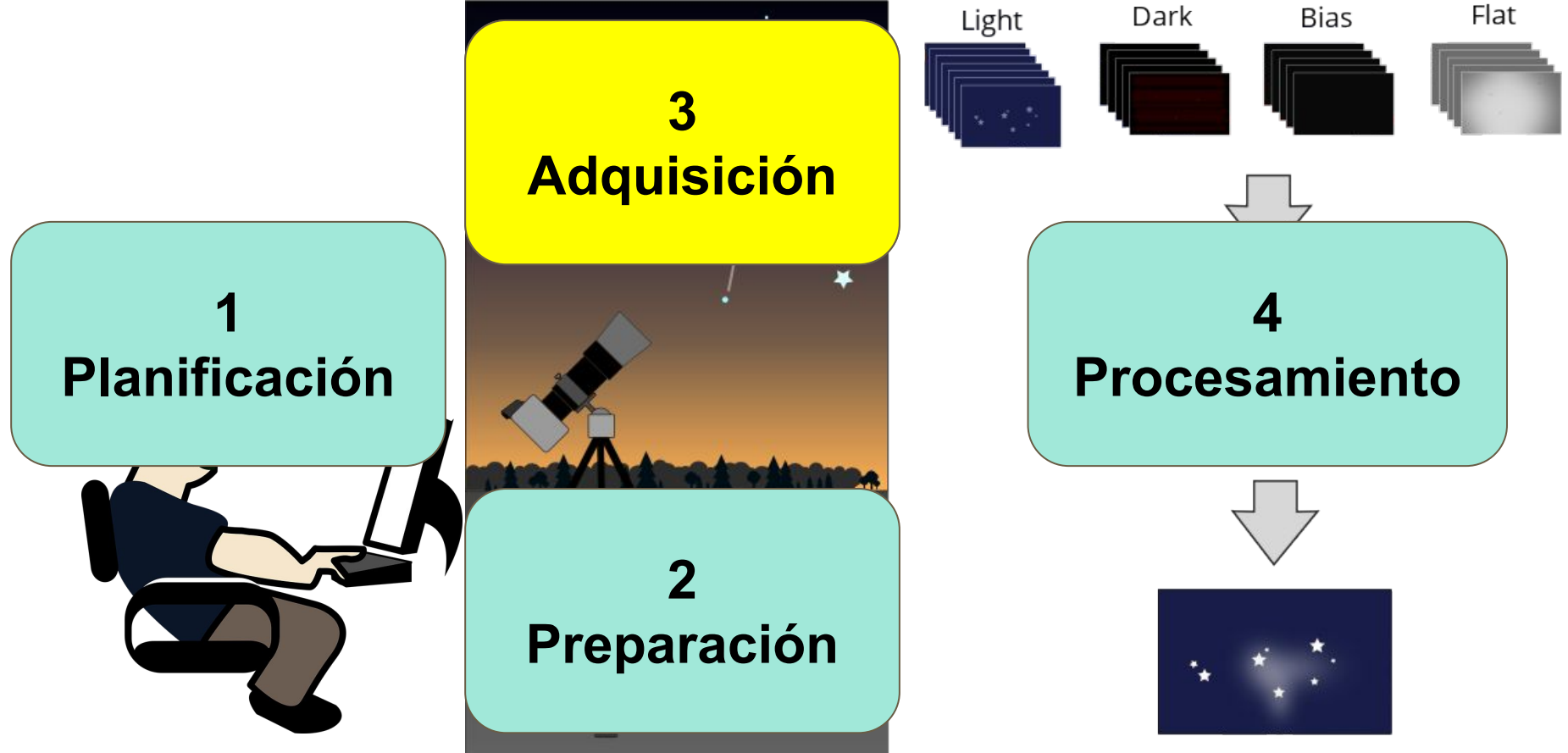
Contenidos

- Descripción del problema abordado
- Introducción
 - Monturas, telescopios y objetivos, espectro EM, imágenes.
- Cámaras y sensores
- Técnicas de Fotografía del Cielo
 - Cámara sobre el trípode
 - Fotografía en paralelo (Piggyback)
 - Fotografía con telescopio
 - Afocal, proyección por ocular, foco primario.

El problema abordado



El problema abordado - Etapas



Introducción

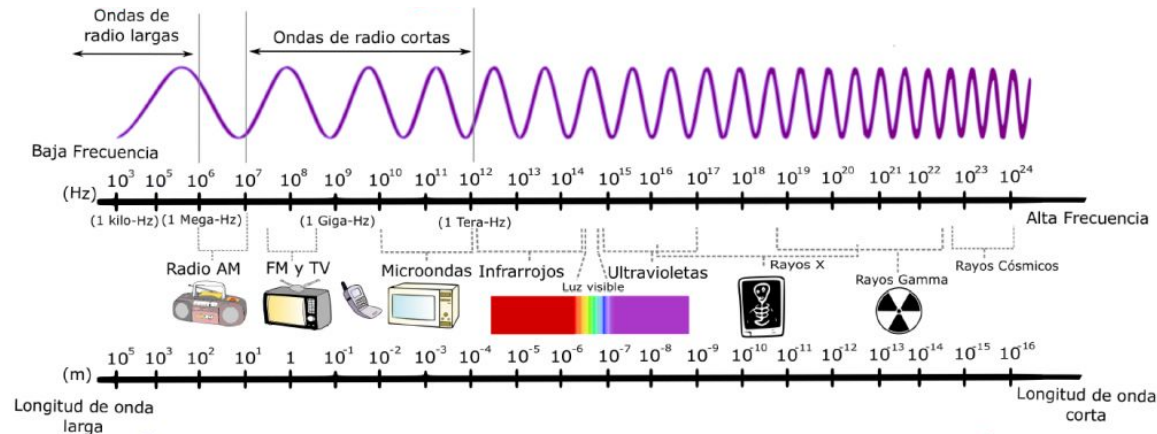
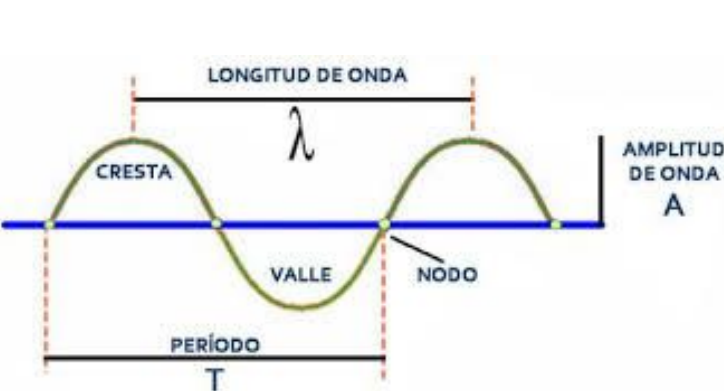
Monturas

- Brinda soporte mecánico al telescopio y permite seguimiento.
- De acuerdo a su sistema de coordenadas:
 - Altacimutal
 - Ecuatorial
- De acuerdo a su construcción
 - Dobson → Altacimutal
 - Horquilla → Altacimutal o → Ecuatorial (con cuña)
 - Ecuatorial Alemana
- Monturas **ecuatoriales** contrarrestan el movimiento de rotación terrestre.



Espectro electromagnético

- **Ondas:** propagación de una perturbación de alguna propiedad del **espacio** implicando un transporte de **energía** sin transporte de materia.
- Tipos de ondas: Mecánicas, **electromagnéticas (EM)**, gravitacionales.
- Nos interesa el intervalo de **ondas EM visibles** (Luz visible)
- Una onda se caracteriza por su longitud de onda, amplitud, etc.



Telescopio - Objetivo

- Instrumento que modifica recorrido de los rayos de luz y los concentra en un plano **formando la imagen** (plano focal).
- **Tipos:** Refractores, reflectores, catadióptricos.
- Características principales de un telescopio
 - **Distancia focal efectiva (EFL):** Distancia entre el *centro óptico del sistema* y el plano focal (donde se forma la imagen).
 - **Diámetro de apertura (D):** Diámetro del objetivo o del diafragma.
 - **Relación focal (F/#):** $F/\# = EFL/D$

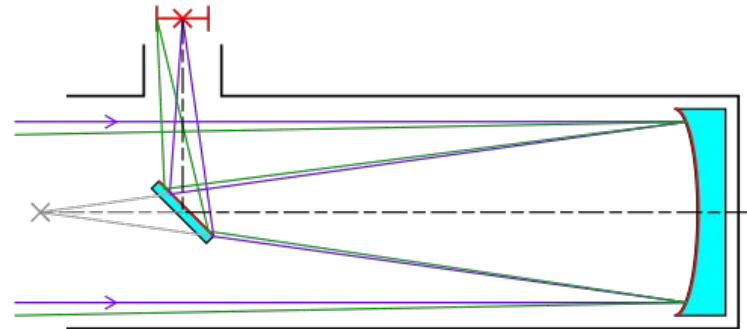
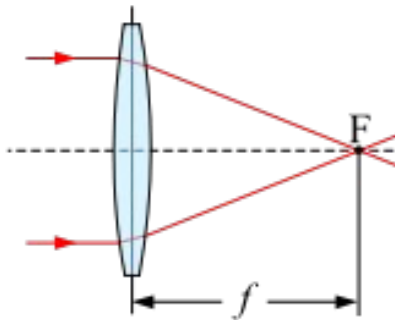


Imagen Digital

- Representación **bidimensional discreta** de una imagen a partir **numeros digitales organizados** de una manera específica.
- La intensidad o nivel de gris en cada píxel se expresa en números digitales (cuentas o ADUs)
- La profundidad de bits (b) de la imagen determina la cantidad de niveles (2^b) y el máximo (2^b-1).
 - 8 bits \rightarrow [0, 255] 256 niveles de gris
 - 16 bits \rightarrow [0, 65535] 65536 niveles de gris

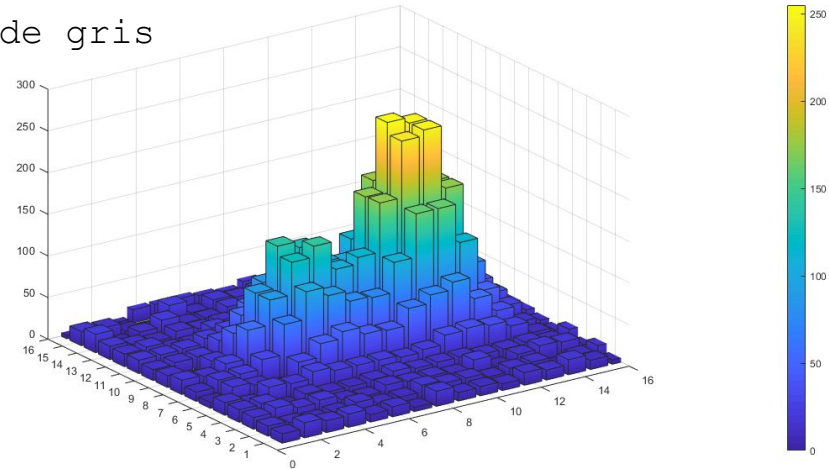
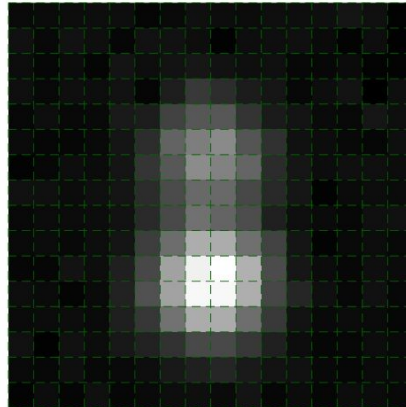
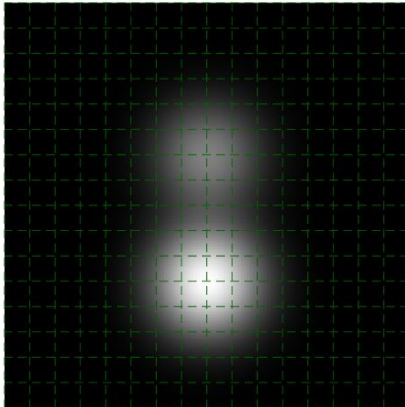
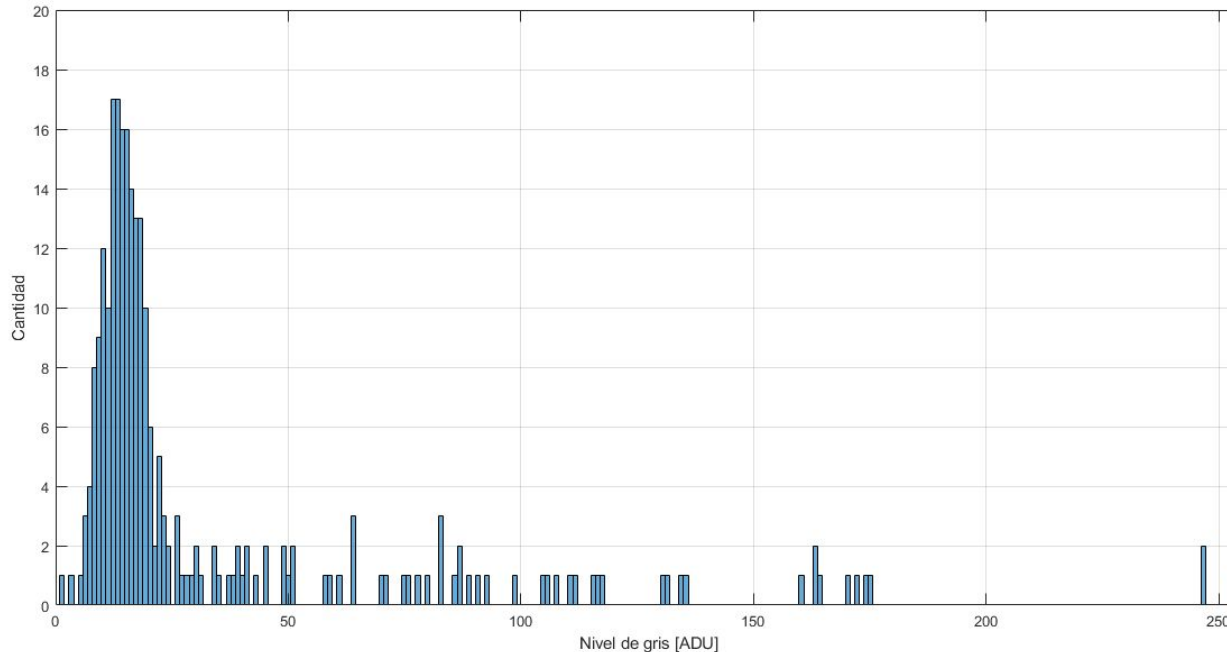


Imagen Digital - Histograma

- Es un gráfico de barras que muestra la cantidad de píxeles con cada nivel de gris
- Eje x → Nivel de gris.
- Eje y → Cantidad de píxeles.



Cámaras y sensores

Tipos de cámaras utilizadas

Según su uso principal

- Cámara digital de celular
- Cámara web (*Webcam*)
- Cámaras CCTV
- Cámara digital compacta
- Cámaras réflex digitales (DSLR, *Digital Single Lens Reflex*)
- Cámara sin espejo de objetivos intercambiables (*Mirrorless*).
- Cámaras astronómicas



Cámaras astronómicas

- Es la unidad encargada de **convertir** las onda electromagnéticas (o fotones) visibles a **datos digitales** que luego son visualizados o almacenados en una PC.
- Se conectan a la PC mediante un cable USB
- Principales partes
 - Sensor de imagen
 - Electrónica de proximidad
 - Obturador (*shutter*) mecánico*
 - Sistema de refrigeración*
- Clasificación
 - Según tipo de sensor: CCD o CMOS
 - Monocromas o color
 - Refrigeradas o no

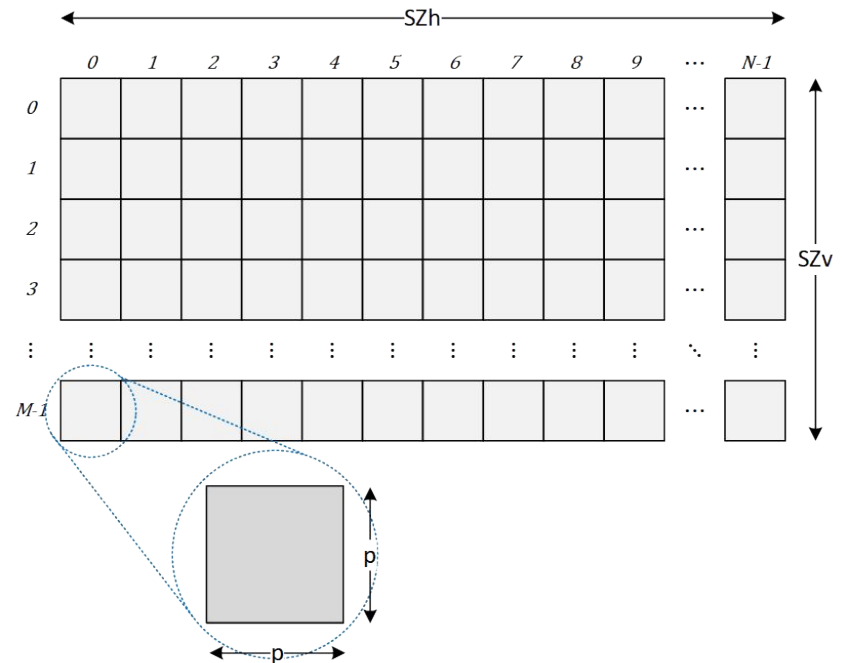


* Solo en algunas cámaras.

Sensor de Imágen - Aspectos Geométricos

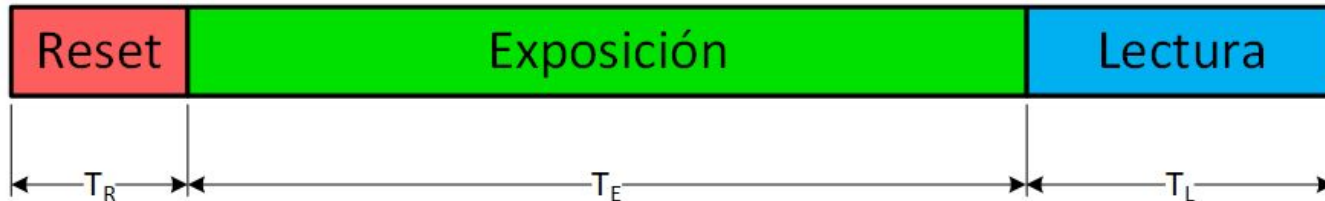
- Chip de **semiconductor** compuesto por una matriz de píxeles (detector)
- Resolución: Cantidad de filas (M) y columnas (N)
 - Ej: 1280x960, 3326x2504 ($N \times M$)
- Tamaño del píxel (p) [μm]
 - Ej: 3,75 μm , 5,4 μm
- Tamaño del sensor (SZh , SZv) [mm]
 - Ej: 4,8x3,6mm, 18x13,5mm
- Diagonal del sensor
 - Ej: 6mm, 22,5mm

$$d = \sqrt{SZh^2 + SZv^2}$$



Fases de una captura

- **Reset:** T_R es el tiempo necesario para preparar los píxeles para la captura.
 - Es un tiempo fijo para un determinado detector.
- **Exposición:** El tiempo de exposición (T_E) es el tiempo durante el cual los píxeles están *abiertos* y capturan la luz que incide sobre ellos.
 - Lo ajusta el operador de acuerdo al objeto que desea capturar.
 - A mayor tiempo de exposición se captura mayor energía.
- **Lectura:** T_L tiempo desde que se cierra el obturador hasta que le leyeron todos los píxeles.
 - Tiempo que depende de la cantidad de píxeles leídos.



Tipos de capturas

Tomas Luz (*Light Frames*):

- Capturas del objeto de interés. Se toman varias imágenes y se apilan para minimizar los efectos del ruido.

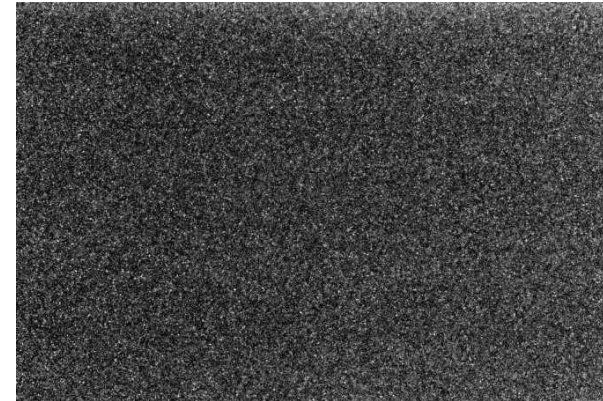
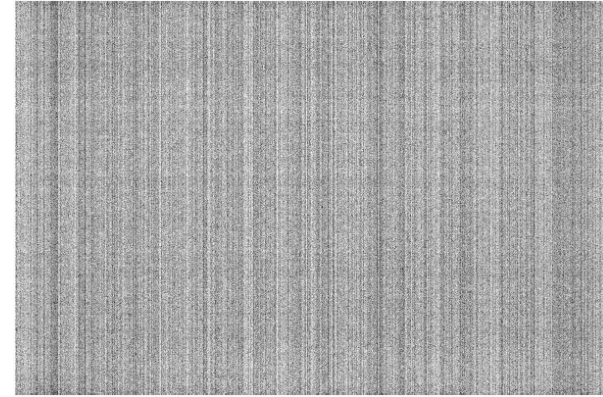
Tomas auxiliares para calibración:

- Utilizadas para corregir defectos que tienen las imágenes *Ligth*. Hay de cuatro tipos:
 - Tomas Oscuras con tiempo de exposición nulo (***Bias/Offset Frames***)
 - Tomas Oscuras (***Dark Frames***)
 - Tomas Planas (***Flat Frames***)
 - Tomas oscuras para corregir tomas planas (***Dark-Flat Frames***)
- Se toman con la cámara a la misma **temperatura** y **configuración** (ISO, *Offset*, ganancia, etc.) que para las imágenes *Ligth*.
- Normalmente se toman varias imágenes de cada tipo (10 - 100) y se obtiene una imagen promedio (*Master*).

Tipos de capturas

Tomas Oscuras con tiempo de exposición nulo (*Bias/Offset Frames*): imágenes que permiten compensar la carga inicial de cada píxel (*offset*) y efectos del ruido de la electrónica durante las fases de reset y lectura. Se toman con $T_E=0$ (o el mínimo posible), con el obturador cerrado u objetivo tapado de manera que no llegue luz al detector y con la misma configuración y temperatura de cámara que las imágenes *Ligth*.

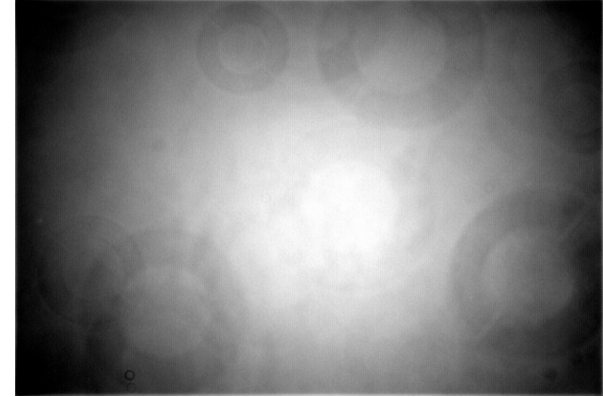
Tomas Oscuras (*Dark Frames*): imágenes que permiten compensar efectos de la no uniformidad del ruido térmico de los píxeles. Se toman con el mismo mismo T_E configuración y temperatura de cámara que las imágenes *Ligth* pero con el obturador cerrado u objetivo tapado de manera que no llegue luz al detector.



Tipos de capturas

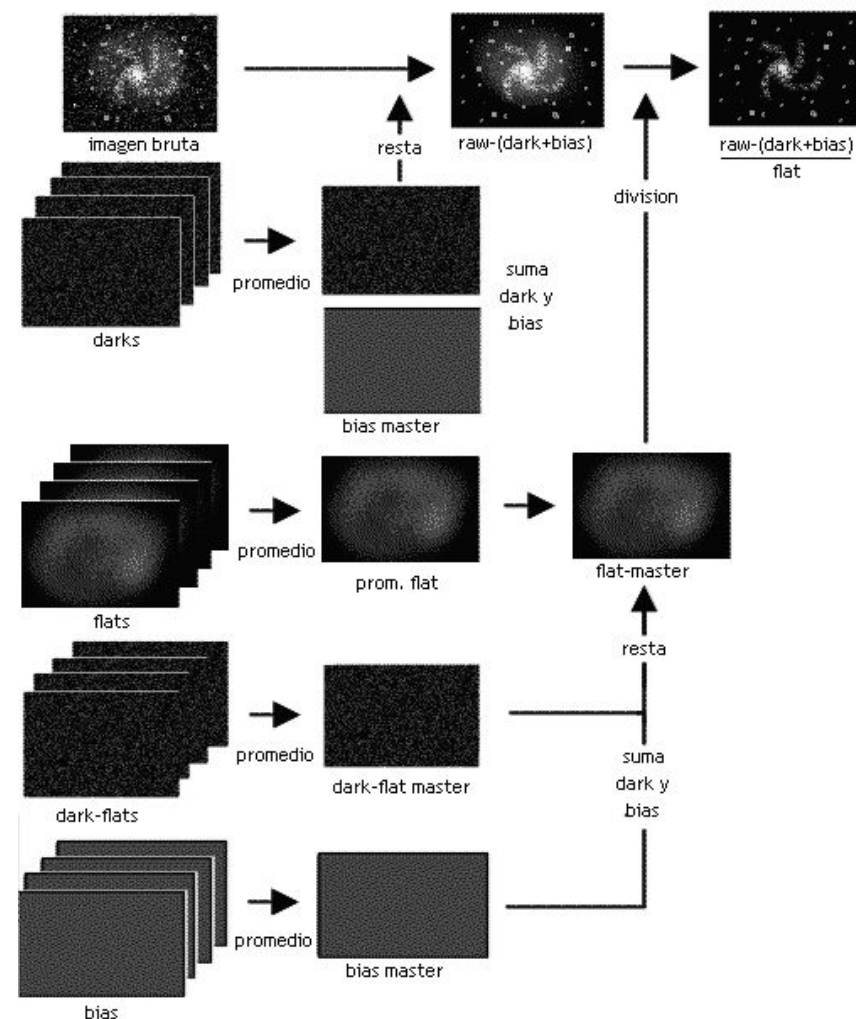
Tomas Planas (*Flat Frames*): Son imágenes auxiliares que permiten corregir la diferencia de sensibilidad de los píxeles, el viñeteo, motas de polvo o manchas del sistema óptico, etc. Se capturan exponiendo al detector a una señal de intensidad uniforme. La cámara debe estar a la misma temperatura y configuración que para las imágenes *Ligth*. El **foco** debe estar en el mismo punto que para las imágenes *Ligth*. T_E se configura de manera tal que el histograma quede centrado.

Tomas oscuras para corregir tomas planas (*Dark-Flat Frames*): Igual que los *Dark* pero con el tiempo de exposición utilizado en los *Flats*. Se utilizan para corregir los *Flats*.



Proceso de calibración

- Se obtiene el *Master* para cada tipo de imagen de calibración.
- Se corrige el *Master Flat* con las tomas oscuras.
- Se corrigen cada una de las imágenes Light con los *Master*
- De acuerdo a la finalidad del trabajo algunas imágenes de calibración o paso del flujo mostrado pueden ignorarse.



Detección de Luz

CCD

Transmisión de la luz al detector

Generación de carga eléctrica

Recolección de carga

Transferencia

Conversión a tensión

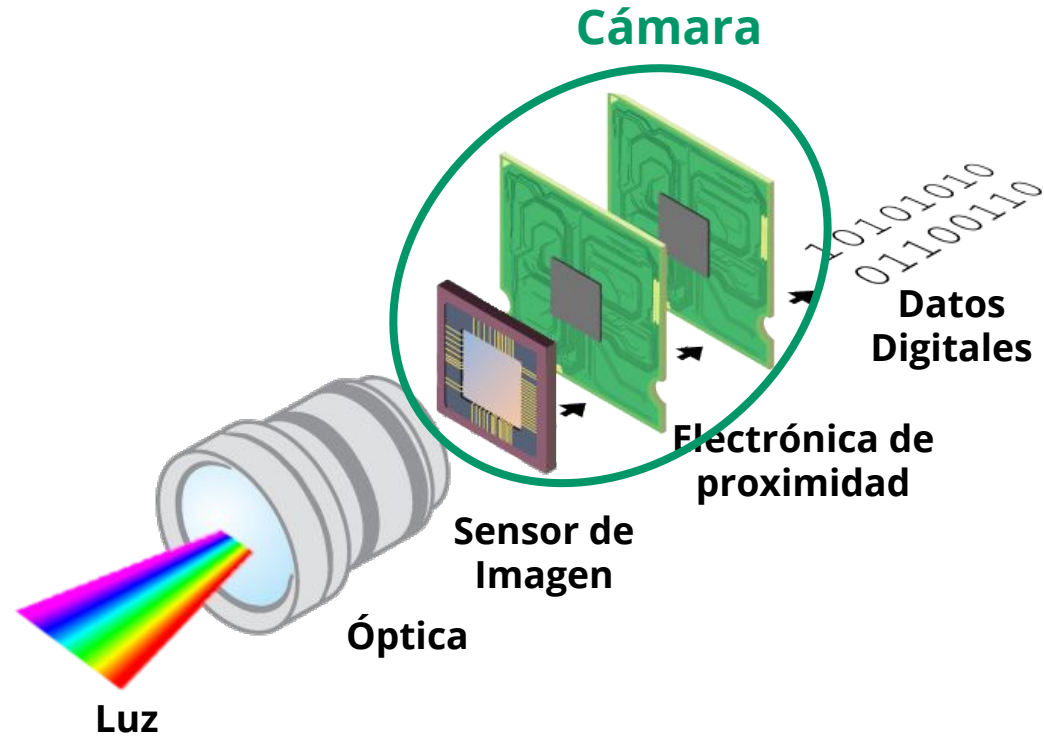
Amplificación

Conversión analógica a digital

CMOS

Conversión a tensión

Transferencia



Cámaras - CCD vs. CMOS

Característica	Basadas en CCD	Basadas en CMOS
QE	40%~80% (en general menor)	60%~85% (en general mayor)
Ruido	Menor	Mayor
Rango dinámico	Mayor	Menor
Uniformidad	Mejor (oscuridad e iluminado).	Peor (oscuridad e iluminado).
Costo	Mayor	Menor
Obturador	Global Mecánico/Electrónico	Electrónico/Rolling Shutter (Typ)
Velocidad de lectura	Menor	Mayor
Otros	Blooming/Antiblooming	Windowing

Técnicas de fotografía del cielo

Técnicas de fotografía del cielo

- Cámara sobre el trípode
- Fotografía en paralelo (Piggyback)
- Fotografía con telescopio
 - Afocal
 - Proyección por ocular
 - Foco primario

Cámara sobre el trípode

- Es la forma más fácil y accesible de iniciarse en la fotografía del cielo.
- Ideal para aprender a **enfocar, componer y procesar**.
- ¿Qué elementos se necesita?
 - Cámara reflex (con lente de focal corta, <50mm) o celular (hay modelos que permiten tomas de larga exposición),
 - Trípode fotográfico
 - Una manera de disparar a distancia.
- ¿Que se puede capturar?
 - Amanecer, atardecer, efectos atmosféricos.
 - Paisajes nocturnos (con la luna u otros objetos), Campo amplio del cielo, constelaciones, Vía Láctea, star trails, trazos de satélites.



Cámara sobre el trípode

- Recomendaciones:
 - Usar la cámara o teléfono en modo manual (control de T_E , ISO, apertura, enfoque, etc.)
 - En caso de DSLR es conveniente cerrar el diafragma del objetivo al menos 1 punto
 - No abusar del ISO
 - Configurar la cámara para que guarde en formato RAW
 - Evitar transmitir vibraciones al disparar (usar disparo a distancia)
 - Se puede utilizar un parasol para evitar luz parásita
 - Evitar zonas con mucho viento.
- Enfoque
 - Hay que enfocar al infinito.
 - Se puede usar el enfoque automático o manual.
- Exposición
 - Para evitar trazas de estrellas usar regla de 500 u otra.
 - Para trazas de estrellas T_{exp} de varios minutos o apilar tomas del orden de los segundos.
 - Para timelapse T_{exp} del orden los segundos o pocos minutos (dependiendo de $distFoc$).

Cámara sobre el trípode

Regla de los 500 para cámara DSLR o Mirrorless

- Estimación del tiempo de exposición (T_E) máximo para que no se produzcan trazas de estrellas. [Calculadora online](#)
- $T_E < 500 / (\text{Factor de Recorte} * \text{Distancia Focal})$
 - Factor de recorte según tamaño de sensor: FullFrame=1; Nikon APS-C=1,5; Canon APS-C=1,6; 4/3 = 2.

Advanced Shutter Time Calculator

- Considera tamaño de pixel, declinación y tolerancia. [Calculadora Online](#).

Regla NPM

- Tiene en cuenta las características de la cámara y la zona de adquisición.
- Desarrollada por un aficionado francés, se considera la mejor estimación.
- Calculadora online: [Règle NPF : temps de pose pour éviter le filé d'étoiles](#)

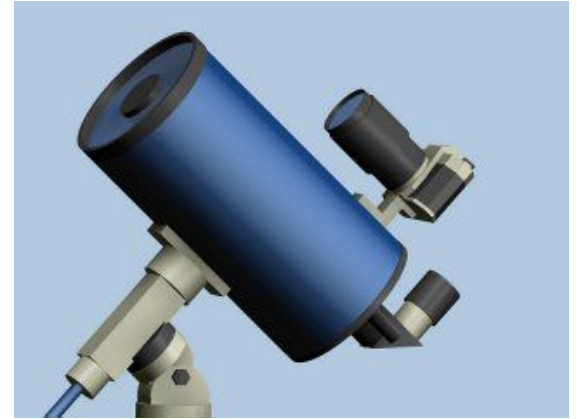
Fotografía en paralelo (Piggyback)

- Aprovecha la montura ecuatorial motorizada del telescopio para cancelar la rotación de la tierra
- Permite hacer exposiciones largas sin trazos
- Se captura con cámara y objetivo.
- ¿Qué elementos se necesita?
 - Montura ecuatorial motorizada en al menos en RA,
 - Soporte de Piggyback
 - Cámara réflex con objetivo
- ¿Que se puede capturar?
 - Zonas amplias del cielo, constelaciones, Vía Láctea, cometas brillantes.



Fotografía en paralelo (Piggyback)

- Recomendaciones
 - Buena puesta en estación para poder extender T_E
 - Configurar la cámara para que guarde en formato RAW
- Se puede aplicar con monturas “chicas” (EQ1, EQ2, EQ3).
- Para algunos tubos que no tienen anillas vienen soportes especiales
- Tomas de larga exposición con EQ sin motores
 - Se realiza el seguimiento de forma manual. Usando un ocular en el tubo (en lo posible reticulado y de focal corta o con barlow) se apunta a una estrella brillante y se acciona el eje de RA para mantenerla en el centro.



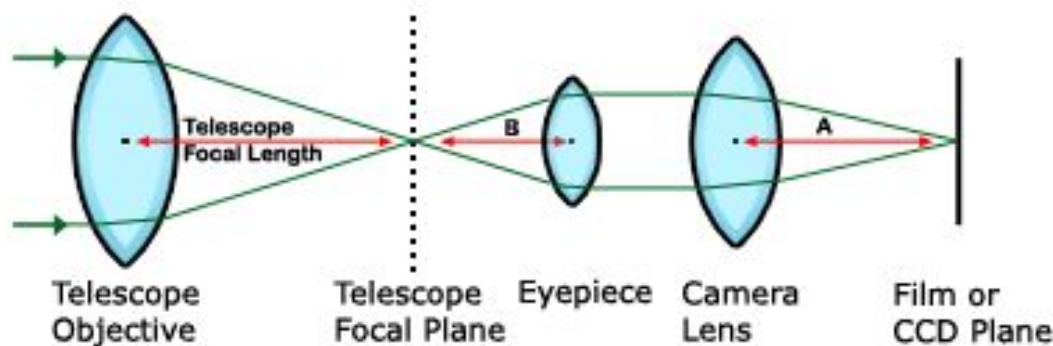
Fotografía con telescopio

- **Afocal**
- **Proyección por ocular**
- **Foco primario**

Fotografía con telescopio

Afocal (digiscoping)

- Consiste en acoplar la cámara con su objetivo (o celular) sobre el ocular del telescopio utilizando un **soporte**.
- Aprovecha la magnificación generada por el telescopio y ocular
- $EFL = DF_{\text{Telesc}} \times DF_{\text{Camara}} / DF_{\text{Ocular}}$



Fotografía con telescopio

Afocal (digiscoping)

- ¿Qué elementos se necesita?
 - Telescopio
 - Ocular
 - Webcam, cámara digital o celular
 - Soporte para cámara/celular
 - Una manera de disparar a distancia
 - Para espacio profundo (larga exposición) → Montura EQ motorizada al menos en 1 eje
 - Para sistema solar (corta exposición) → Se puede usar montura AltAz o EQ con o sin motorización.
- ¿Que se puede capturar?
 - Objetos de espacio profundo
 - Objetos del sistema solar

Fotografía con telescopio

Afocal (digiscoping) - Soportes



Fotografía con telescopio

Afocal (digiscoping) - Soportes

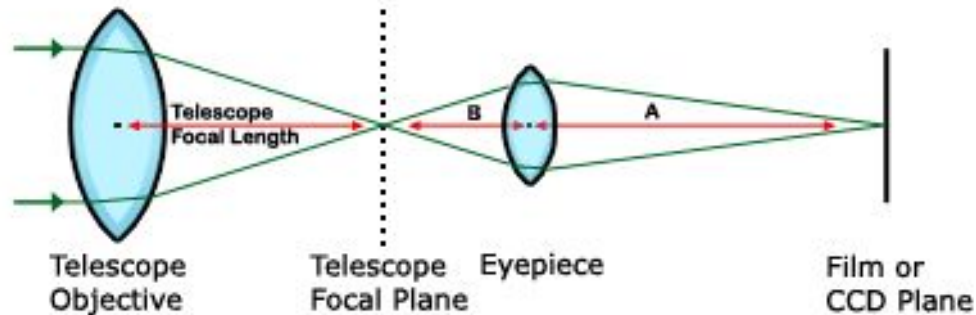
- Se puede aplicar con binoculares para fotografía de la luna o naturaleza.



Fotografía con telescopio

Proyección por Ocular (Eyepiece Projection)

- Consisten en montar un ocular en el telescopio pero en lugar de poner el ojo detrás del mismo se coloca el detector de una cámara **sin el objetivo**.
- $EFL = DF_{Telesc} \times A / B$; donde $1/DF_{Ocular} = 1/A + 1/B$
 - Ej: $DF_{Telesc} = 600$, $DF_{Ocular} = 11\text{mm}$, $A = 150\text{ mm} \rightarrow B=10,7$; $EFL = 8411\text{mm}$
- Permite incrementar mucho la distancia focal (ajustando A y B).



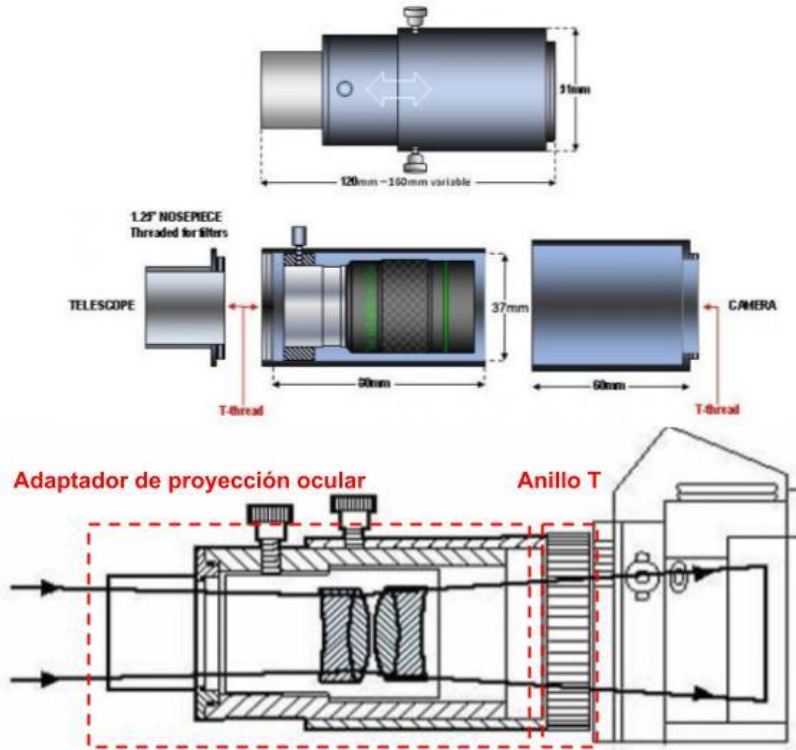
Fotografía con telescopio

Proyección por Ocular (Eyepiece Projection)

- Es un sistema difícil de enfocar.
- ¿Qué elementos se necesita?
 - Telescopio
 - Ocular
 - DSLR
 - Soporte para cámara
 - Una manera de disparar a distancia
 - Para espacio profundo (larga exposición) → Montura EQ motorizada al menos en 1 eje
 - Para sistema solar (corta exposición) → Se puede usar montura AltAz o EQ con o sin motorización.

Fotografía con telescopio

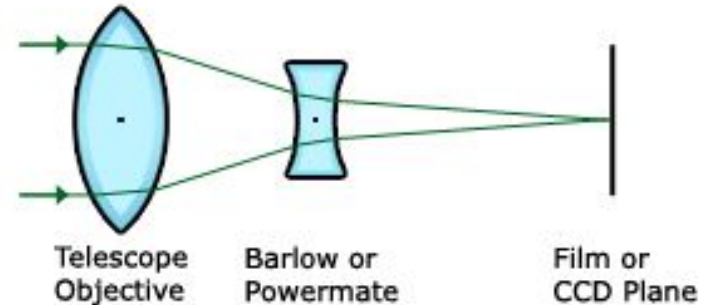
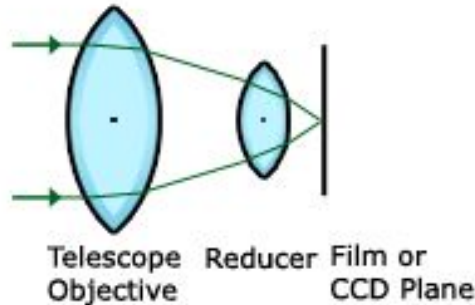
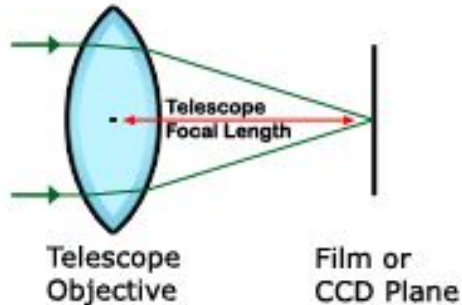
Proyección por Ocular - Soportes



Fotografía con telescopio

Foco Primario (Prime Focus)

- Consiste en colocar el detector de una cámara directamente en el plano focal del sistema óptico
- Se puede usar con cámaras web, DSLR/Mirrorless y astronómicas
- Se puede usar un barlow o reductor
- Es la técnica más utilizada



Fotografía con telescopio

Foco Primario (Prime Focus)

- ¿Qué elementos se necesita?
 - Telescopio
 - Cámara astronómica, DSLR/Mirrorless o webcam
 - Soporte para cámara
 - Una manera de disparar a distancia
 - Para espacio profundo (larga exposición) → Montura EQ motorizada al menos en 1 eje
 - Para sistema solar (corta exposición) → Se puede usar montura AltAz o EQ con o sin motorización.

Fotografía con telescopio

Foco Primario - Soportes



Fotografía con telescopio - Foco Primario

Cámara web Logitech c270 adaptada con pieza impresa en 3D



Fotografía con telescopio - Foco Primario

Cámara web Logitech c270 adaptada con pieza metálica

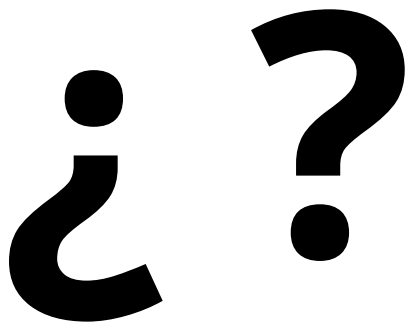


Fotografía con telescopio - Foco Primario

Anillo T a M42 para DSLR Nikon y adaptador M42 a 2"



¡Gracias por su atención!



Contacto: matias.leonel.martini@gmail.com

Fuentes

- AR0130CS, 1/3-inch CMOS Digital Image Sensor; On Semiconductor; AR0130CS/D; Rev. 15; Jan 2019.
- Scientific Imaging Sensors, A Short Course presented at the “Detectors for Astronomy” workshop Garching; J. Beletic and M. Loose Oct. 2009.
- Handbook of CCD Astronomy; S. Howell; 2nd ed.; 2006.
- [Introduction to Image Sensors](#)
- [Full Well Capacity](#)
- [NPF rule to avoid star trails - DSLR & Digital Camera Astro Imaging & Processing](#)
- [Escala de cielo oscuro de Bortle; Wikipedia.](#)
- [Bortle class data; Light Pollution Map](#)
- [Técnicas básicas de astrofotografía; Agrupación Astronómica Vizcaina](#)
- [Procesado de imagenes CCD; Agrupación Astronómica Vizcaina](#)
- [Imaging Methods; TeleVue](#)

Auxiliares

Espectro Visible

