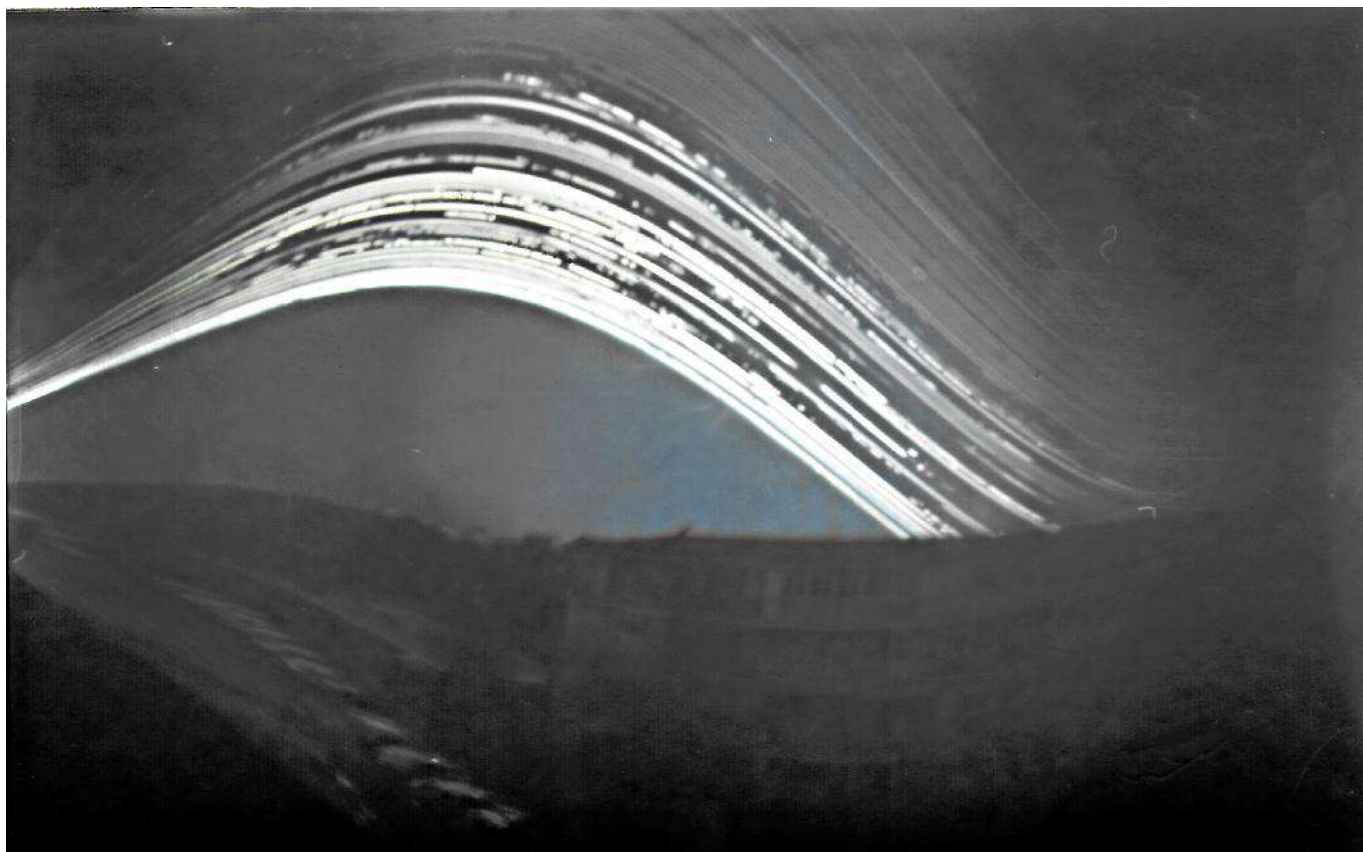


SOLARIGRAFÍA

Arte, Ciencia y Paciencia

Ángel Pérez Navarro, Grupo Kepler, Madrid.



Una solarigrafía es una imagen de muy larga exposición (típicamente 6 meses, entre solsticios) que registra el movimiento aparente del Sol desde un determinado lugar. Se realiza con cámaras estenopeicas: cámaras oscuras con un pequeño orificio (estenopo) por el que entra la luz. Las cámaras son de construcción casera. El sensor es un papel fotográfico clásico para copias en blanco y negro, que, como veremos más adelante, no necesita revelado. La fotografía superior es una solarigrafía desde Madrid, con una cámara como las descritas en el artículo, orientada al suroeste. La técnica fue desarrollada alrededor del año 2.000 por los fotógrafos Diego López Calvín, Sławomir Decyk y Paweł Kula, creadores del “Proyecto Solaris”.

1. Cámaras para solarigrafía

La cámara solarigráfica ideal debe cumplir varios requisitos:

1. Campo de visión amplio, para registrar convenientemente las posiciones del Sol.

2. Resistencia a la intemperie, completamente opaca para impedir la entrada de luz no deseada y hermética, salvo por el estenopo, para impedir la entrada de humedad.

3. Fácil de construir.

4. Barata.

Todos estos requisitos se cumplen construyendo las cámaras con latas de bebida, como hace el fotógrafo británico Justin Quinnell, que tiene publicados varios tutoriales en Internet, tanto en vídeo como escritos, todos ellos en inglés.

Mr. Quinnell utiliza latas de 44 cl^[1] que tienen el tamaño ideal para albergar una hoja de papel fotográfico estándar de 13 x 18 cm. El problema es que esas latas solo se utilizan para envasar cerveza o bebidas “energéticas”, y no queremos que nadie nos acuse de promover desde las aulas el consumo de esas sustancias.



Fig. 1 Justin Quinnell en uno de sus talleres de Solarigrafía

Se pueden usar latas de refresco estándar de 33 cl^[1], pero en ese caso será necesario recortar el papel fotográfico.

Para construir una cámara se necesitan dos latas: una será para la cámara en sí y de la otra solo se usa el fondo y un par de centímetros del cilindro para hacer la tapa.

Una alternativa a las latas de 44 cl^[1] es la cámara solarigráfica de PVC que desarrollada y probada por el autor en los últimos años.

Las cámaras de PVC cumplen todos los requisitos de la cámara ideal, y además se pueden construir en distintos tamaños, incluso para usar papel de 13 x 18 cm, y otras medidas



Fig. 2 Cámaras de PVC, de 70 mm y 40 mm

variables según las necesidades, son reutilizables y se pueden pintar para que resulten menos llamativas.

Como inconveniente, su precio, que sin ser alto, es mas elevado que el de una lata que se considera gratis.

2. Construcción de una cámara solarigráfica de PVC

Necesitamos tres piezas de PVC, que se pueden adquirir en grandes superficies de bricolaje y construcción o en tiendas de suministro de material de fontanería:

- Un tapón roscado
- Un manguito (pieza cilíndrica)
- Un tapón ciego

Opcionalmente, podemos usar un soporte para tubo de PVC para fijar la cámara.



Fig. 3 Piezas de PVC para construir la cámara

[1] Usamos cl (centilitros) en lugar de cm³ porque es la nomenclatura que se usa en las latas de bebidas.

Para usar papel de 13 x 18 cm el diámetro del manguito y los tapones es de 70 mm.

Necesitaremos también un trozo de chapa de aluminio procedente de una lata de refresco para realizar el estenopo, cola especial para PVC y un pegamento de otro tipo, como describo más adelante.

Antes de ensamblar las tres piezas de PVC es necesario hacer un orificio de unos 8 ó 10 mm de diámetro en el manguito, que cubriremos con la chapa de aluminio del estenopo. En primera aproximación, el orificio estará equidistante de los bordes del manguito. En el apartado donde se habla de la altura del Sol y la colocación de la cámara se explica el efecto de la posición del estenopo.

El PVC es un material relativamente duro. Para hacer este orificio preferentemente usaremos una taladradora eléctrica o si no disponemos de ella, una barrena manual. En ambos casos, es necesario sujetar bien el manguito en una mordaza sin dañarlo. No es recomendable taladrar el manguito con una herramienta caliente, como un soldador porque se desprenden gases nocivos. Los bordes del orificio se repasan con una lima para eliminar restos de material.



Fig. 4 Cámara de PVC ensamblada

Los alumnos mayores necesitarán supervisión y los más pequeños es posible que no puedan hacerlo ellos mismos.

Las tres piezas se pegan con cola especial para PVC. Es importante seguir las instrucciones del pegamento para que las juntas queden estancas. El pegamento fragua casi de inmediato, no hay margen para recolocar las piezas, aunque es realmente difícil colocarlas mal.

El orificio de 8 - 10 mm que habíamos hecho antes se cubre con una lámina de aluminio en la que hemos hecho el estenopo (más adelante veremos cómo), que debe quedar centrado en el orificio grande.

La lámina se debe pegar bien al manguito. He probado tres tipos de pegamento:

1. Epoxi rápido (secado en 5'). Es una resina de dos componentes que se mezclan a partes iguales. El más conocido y seguramente más fácil de encontrar en tiendas de bricolaje es el Araldit. La unión puede sujetarse con cinta aislante mientras seca, y si no se quiere pintar la cámara, la cinta puede dejarse. Los restos de pegamento se limpian con alcohol antes de que seque.

2. Cianocrilato. Más conocido como "superglue". Seca en segundos, es muy resistente si se aplica bien, pero parece haber sido diseñado para pegar firmemente los dedos, motivo por el cual, no aconsejo su uso por menores.

3. Silicona caliente. Es el que peor aguanta la humedad, pero puede usarse si se protege la unión con cinta americana. No es muy elegante, pero funciona.

Mi preferencia personal es, sin duda, el epoxi. En todos los casos hay que lijar un poco la superficie del manguito y la chapa de aluminio y aplicar la cantidad justa de pegamento para sellar bien la unión pero sin tapar el estenopo.

3. Construcción del estenopo

Necesitaremos un trozo de lámina de aluminio de unos 3 x 3 cm, procedente de una lata de refresco, una aguja de coser, la más fina que tengamos a mano, y lija para metales muy fina.



Fig. 5 Chapa de aluminio de lata de refresco con estenopo

El estenopo es el elemento óptico de la cámara, y merece la pena dedicarle un poco de tiempo para que quede bien.

Realmente, el estenopo no es ni mucho menos tan grande como parece en la foto, pero se aprecia muy bien su forma circular.

Hay dos formas de hacer el estenopo, la primera es muy rápida pero produce una calidad baja, la segunda lleva algo más de tiempo pero produce una calidad muy alta.



El rectángulo azul representa la sección transversal de la lámina de aluminio.

Método 1. Consiste sencillamente en atravesar la lámina de aluminio con la aguja.



El resultado es un estenopo más grueso que la lámina sobre la que está realizado.

A pesar de la apariencia, funciona. Es el método usado en las cámaras construidas con latas de bebida.

Método 2. En un primer paso, pinchamos la lámina de aluminio sin atravesar. Para ello la colocamos sobre una superficie no muy dura, como un periódico, y presionamos con la aguja.



Lijamos la protuberancia hasta que aparezca un pequeño orificio y después lijamos por el otro lado. Puede ser necesario pinchar otra vez en el mismo punto.



Obtenemos un estenopo muy delgado y más pequeño que el que se consigue con el Método 1.

Es importante que el estenopo sea delgado para no limitar el campo que ve la cámara. En cuanto al diámetro, hay infinidad de fórmulas, todas aproximadas, que lo relacionan con la distancia focal de la cámara, pero como veremos a continuación, la distancia focal de una cámara cilíndrica no es constante. En general, cuanto más pequeño es el estenopo mejor es la resolución de la cámara, pero hasta un cierto límite en el que la difracción empeora la imagen. En nuestro caso, conviene que sea más pequeño que el diámetro de la aguja, por eso, se use el método que se use, la aguja no debe pasar por completo por el estenopo.

4. El papel fotográfico.

El sensor de la cámara es papel fotográfico clásico para copias en blanco y negro. Debe usarse papel con acabado satinado o mate, nunca brillante porque produce reflejos en el interior de la cámara. Puede encontrarse en algunas tiendas de fotografía y en esa gran tienda on-line en la que estás pensando.

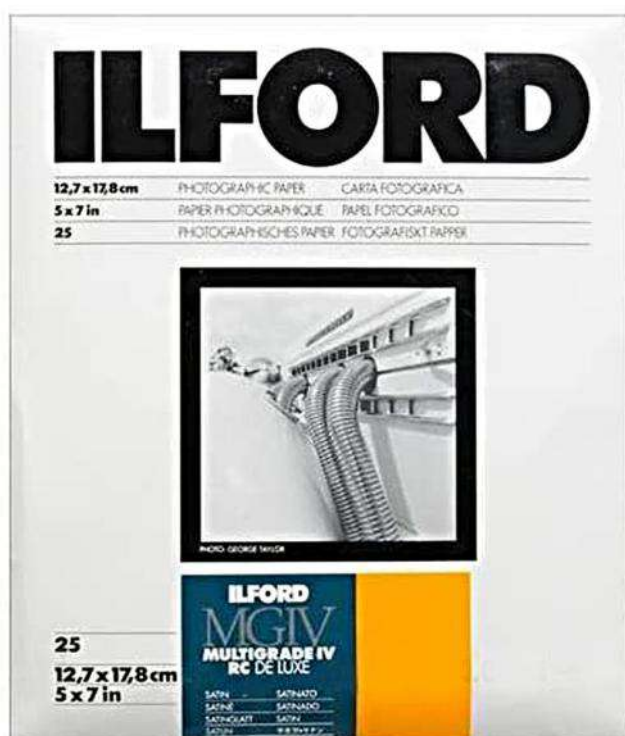


Fig. 6 Un sobre de 25 hojas de papel fotográfico de 13x18 cm

El papel no es sensible a la luz roja, por lo que puede manipularse en una estancia iluminada con una linterna roja no muy intensa.

Para cargar la cámara, se tapa el estenopo con un trozo de cinta aislante que tiene un extremo doblado sobre sí mismo para poderlo retirar después con facilidad, se abre el tapón roscado y se introduce el papel con la cara sensible frente al estenopo. La cara de la emulsión fotográfica se distingue de la otra cara porque tiene un tacto más suave y es ligeramente más brillante cuando se ilumina con la luz roja.

La hoja de 13 x 18 cm se ajusta bien a una cámara hecha con piezas de PVC de 70 mm.

Para cámaras de 50 – 40 – 32 mm, el papel se debe cortar de tal manera que al introducirlo en la cámara los bordes queden separados aproximadamente 1 cm.



Fig. 7 Cámara de PVC de 32 mm de diámetro iluminada por una linterna roja de 6 LED. El papel no es fotográfico.

Solo queda cerrar la cámara, teniendo cuidado de de que la junta de goma del tapón roscado quede en su sitio.

5. Imagen en una cámara estenopeica cilíndrica

La imagen que produce una cámara estenopeica se caracteriza por:

1. Una profundidad de campo infinita.

La profundidad de campo es un concepto que todo fotógrafo conoce bien: cuando se enfoca a un objeto situado a una cierta distancia, objetos un poco por delante y un poco por detrás también quedan enfocados, mientras que otros situados más cerca o más lejos de la cámara quedan desenfocados. Ese rango de distancia en que los objetos aparecen enfocados es la profundidad de campo.

En general, la profundidad de campo disminuye al aumentar la distancia focal y aumenta al disminuir el tamaño del diafragma. En una cámara estenopeica el diafragma es el estenopo, muy pequeño, como hemos visto, por lo que todo lo que hay delante de la cámara queda enfocado a cualquier distancia.

2. Deformaciones debidas a la proyección, en este caso sobre una superficie cilíndrica.

En un instrumento óptico, la distancia focal se define como la distancia del elemento óptico principal al lugar en el que se forma la imagen, generalmente un plano. La distancia focal determina el tamaño de la imagen en el plano focal. Cuanto mayor es la distancia focal, más grande es la imagen.

En nuestro caso el elemento óptico es el estenopo, y la imagen se forma sobre la superficie del cilindro. Resulta evidente que la distancia del estenopo a cada punto de la pared del cilindro es diferente, por lo que la distancia focal es distinta en cada punto y el tamaño de la imagen también lo es.

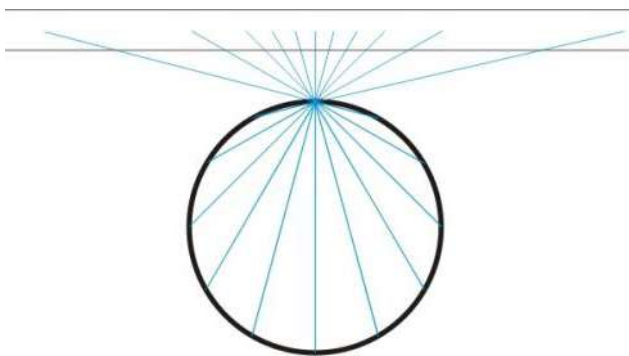


Fig. 8 Distancia focal en una cámara cilíndrica

Como consecuencia de esto, la imagen tiene una característica forma de ojo, con las esquinas oscuras y las líneas horizontales curvadas. La imagen se genera invertida en el interior de la cámara.

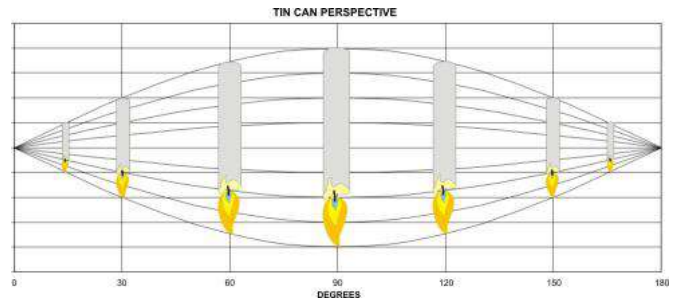


Fig. 9 Tamaño de la imagen en distintas posiciones de la pared del cilindro. Las velas están todas a la misma distancia del plano tangente al cilindro por el estenopo. La imagen se genera invertida.



Fig. 10 Imagen tomada con cámara estenopeica cilíndrica. Esquinas sin iluminar, líneas horizontales curvadas y todo enfocado.

6. La altura del Sol, la posición del estenopo y la colocación de la cámara

Supongamos primero la cámara colocada con la base del cilindro horizontal. El Sol más alto que puede registrar apuntando al Sur viene dado por el ángulo definido por la altura del estenopo y el diámetro del cilindro.

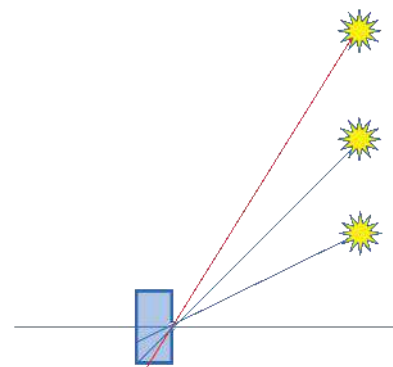


Fig. 11 Cámara en posición horizontal

En la figura, el Sol más alto que se puede registrar es el de abajo, la proyección de la posición más alta cae sobre la base del cilindro, no sobre la pared.

Para una cámara construida con piezas de 70 mm, la altura del estenopo es de 6,5 cm y el diámetro interior de la cámara es también de 6,5 cm aproximadamente. El Sol más alto que se puede registrar con la cámara en horizontal es de 45° (arcotangente de $6,5 / 6,5$).

En Madrid (latitud 40° N) la máxima altura del Sol en el mediodía del solsticio de verano es $90^\circ - 40^\circ + 23,5^\circ = 73,5^\circ$ (colatitud más la inclinación de la eclíptica)

Si en horizontal la cámara solo registra el Sol como máximo a 45° , tenemos que inclinarla $73,5^\circ - 45^\circ = 28,5^\circ$ para registrar la posición más alta del Sol.

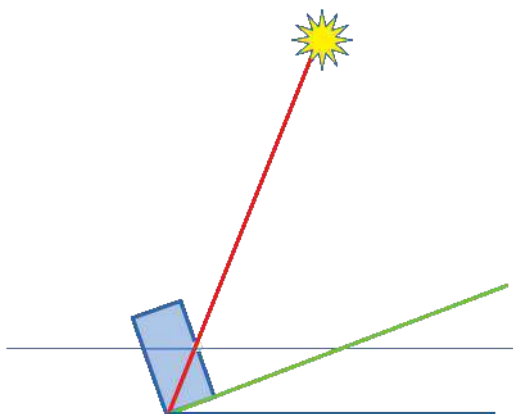


Fig. 12 Cámara inclinada

En la figura, el ángulo que forman la línea verde y la roja es la máxima altura del Sol que puede registrar la cámara en horizontal. El que forma la línea azul con la roja es la máxima altura que alcanza el Sol en el lugar. El ángulo que forma la línea azul con la verde es la inclinación necesaria para registrar la máxima altura del Sol en ese lugar con esa cámara.

Si por algún motivo no queremos o no podemos inclinar la cámara, podemos registrar una posición más alta del sol colocando el estenopo más separado de la base del cilindro, o bien construyendo una cámara más alargada, aunque en este caso estamos limitados por los materiales disponibles.

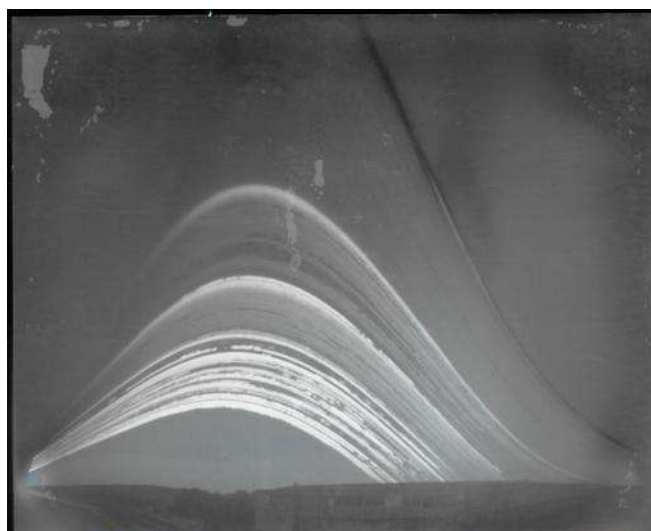
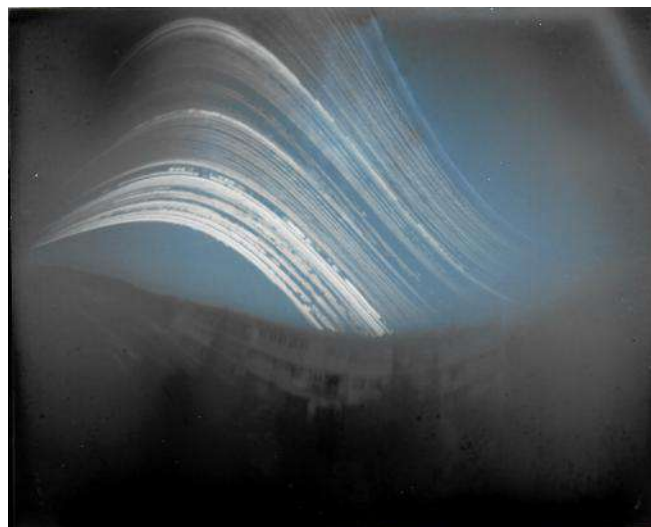


Fig.13 Dos solarigrafías tomadas en el mismo periodo desde el mismo lugar. Ambas orientación suroeste. Arriba: cámara con estenopo en posición central, inclinada. Abajo: cámara con estenopo en posición elevada, horizontal

Otro aspecto que debemos decidir al colocar la cámara es su orientación acimutal. Si lo que deseamos es registrar los cambios de altura máxima del Sol en el periodo de observación, la cámara deberá apuntar al sur, pero es muy interesante comprobar cómo cambia el acimut de la salida y la puesta del Sol entre solsticios, para lo cual hay que apuntar la cámara al este o al oeste respectivamente.

Una situación particular es la de una cámara con el estenopo en el centro, la base inclinada

un ángulo igual a la colatitud del lugar (90° -latitud) y orientada al sur. En esta posición, el Sol del día del equinoccio aparecerá como una línea horizontal en la imagen. En los días entre el equinoccio y el solsticio de verano el Sol dibujará curvas hacia arriba y en los días entre el equinoccio y el solsticio de invierno las curvas serán hacia abajo.

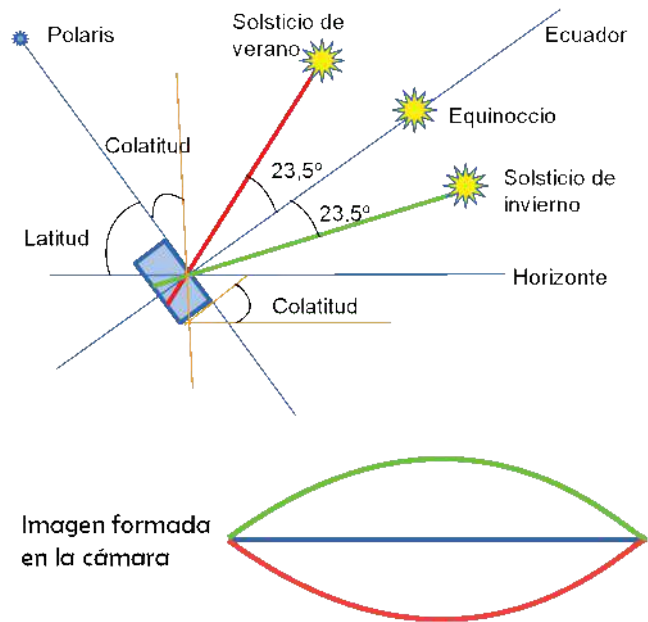


Fig. 14 Cámara inclinada un ángulo igual a la colatitud del lugar. Recuérdese que la imagen se forma invertida.

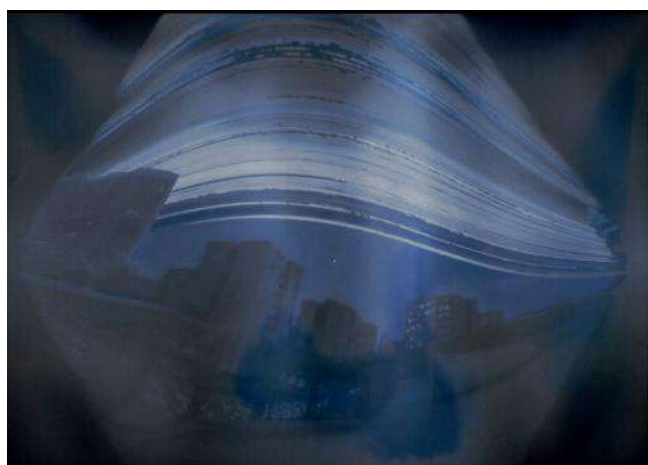
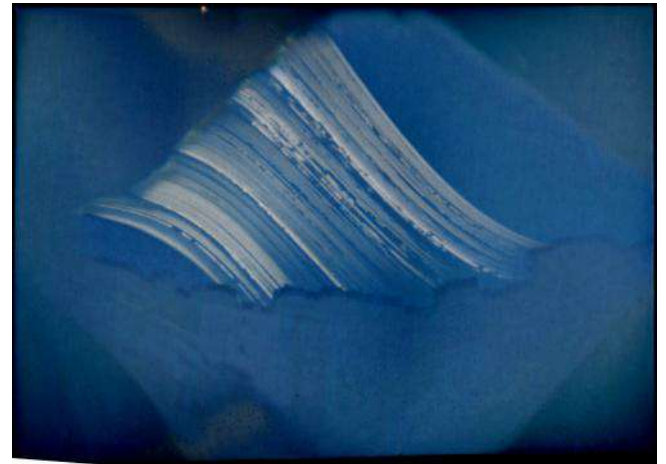


Fig. 15 Dos solarigrafías tomadas entre el solsticio de invierno de 2018 y el solsticio de verano de 2019 desde el aula de Astronomía de Fuenlabrada. Arriba: orientación sur, en la foto siguiente: orientación oeste



7. Consejos para colocar la cámara

La cámara debe sujetarse firmemente a una estructura en la que pueda permanecer inmóvil durante los 6 meses que dura la exposición. Se pueden utilizar bridas de nylon, cinta americana, cinta de doble cara, soportes de PVC atornillados a paredes, pegamento, cuñas de madera para darle inclinación, o una combinación de ellos. Es mejor colocarlas en lugares privados que podamos controlar, preferentemente poco transitados. El PVC se puede pintar para que la cámara resulte menos llamativa. Hay que pensarlo dos veces antes de colocar una cámara en un lugar público a la vista de todo el mundo, especialmente si es de gran formato. En más de una ocasión una cámara estenopeica ha causado un incidente serio al ser confundida con un artefacto explosivo.

Bomb Squad Called to Bridge to Deal with a Solargraphy Pinhole Camera

APRIL 2013 MICHAEL DHANO

Share 2 Tweet

61 COMMENTS



Fig. 16 <https://petapixel.com/2013/04/08/bomb-squad-called-to-bridge-to-deal-with-a-solargraphy-pinhole-camera/>

Si finalmente decidimos colocar la cámara en un lugar público, debe ser pequeña, discreta, y debemos asumir que puede ser movida o desaparecer.

Una vez fijada la cámara, se destapa el estenopo, y ya solo queda esperar. Seguramente no hará falta, pero no está demás poner un aviso en el calendario para retirarla.

Cuando llegue el momento, taparemos el estenopo con otro trozo de cinta aislante y la llevaremos a casa para recuperar la imagen.



Fig. 17 La cámara que se ve en esta imagen fue movida, seguramente por el personal de mantenimiento del parque.

8. Retirada del papel y procesado de la imagen.

Una vez en casa, en una habitación poco iluminada abriremos la cámara. El tapón roscado puede estar muy duro después de 6 meses expuesto al frío y el Sol.

El papel puede estar húmedo, y es posible que en el fondo de la cámara se haya condensado algo de agua. Solo debemos tocar el papel por las esquinas, que como vimos antes, no están expuestas, y si se nota húmedo conviene dejarlo secar en un lugar totalmente oscuro antes de sacarlo de la cámara. Al sacarlo estará totalmente curvado y degradado,

tendrá un tacto muy diferente del que tenía hace 6 meses. Lo mismo le ocurre a la emulsión fotográfica, que será muy frágil si está húmeda, tanto que se puede desprender con solo tocarla con los dedos.

La imagen del papel es un negativo: las zonas expuestas a la luz aparecerán oscuras y las zonas que no han sido iluminadas seguirán blancas.

La luz del Sol es tan intensa que oscurece el papel de inmediato, los otros elementos del paisaje van acumulando luz a lo largo del tiempo y también forman una imagen visible sin necesidad de usar los reveladores químicos que se usan en el procesado normal del papel fotográfico.

El papel no ha sido diseñado para exposiciones tan largas ni para soportar cambios de temperatura y humedad durante periodos largos, por lo que la emulsión al degradarse puede adquirir un tono anaranjado o sepia en algunas zonas. No es raro que aparezcan también otros colores.



Fig. 18 Papel al salir de la cámara

El siguiente paso es escanear el negativo. Usaremos una resolución de 400 – 600 dpi. Es muy importante realizar el escaneado sin previsualizar, para no exponer el papel dos veces a la luz del escáner. El papel sigue siendo

sensible a la luz, y después del escaneado ennegrecerá un poco.

La imagen escaneada se debe guardar en algún formato sin compresión, como bmp, png o tiff. No se recomienda usar jpg porque pierde información.

Si no se dispone de un escáner, se puede utilizar una cámara fotográfica digital o la cámara de un móvil.

Si queremos conservar el papel, es mejor que esté plano y siempre en un lugar protegido de la luz. No se recomienda fijar la imagen porque pierde más nitidez.

Ya tenemos un archivo digital que tenemos que procesar con nuestro programa favorito de tratamiento de imágenes. Si no manejamos ninguno de manera habitual, recomiendo usar GIMP: es un software gratuito, relativamente sencillo de usar y disponible para sistemas operativos Windows, Linux y Mac OS.



Fig. 19 <https://www.gimp.org/>

Hay numerosos tutoriales y recursos en la red con los que podemos aprender a usar GIMP, dejo aquí varios enlaces a recursos en español:

Un tutorial web muy completo:

<https://sites.google.com/site/tutorialdegimp/home>

Un videotutorial largo (más de 4 horas):

<https://www.youtube.com/watch?v=uX3QieANqxc>

Y un videotutorial corto (26 minutos):

<https://www.youtube.com/watch?v=X61yReOfUOk>

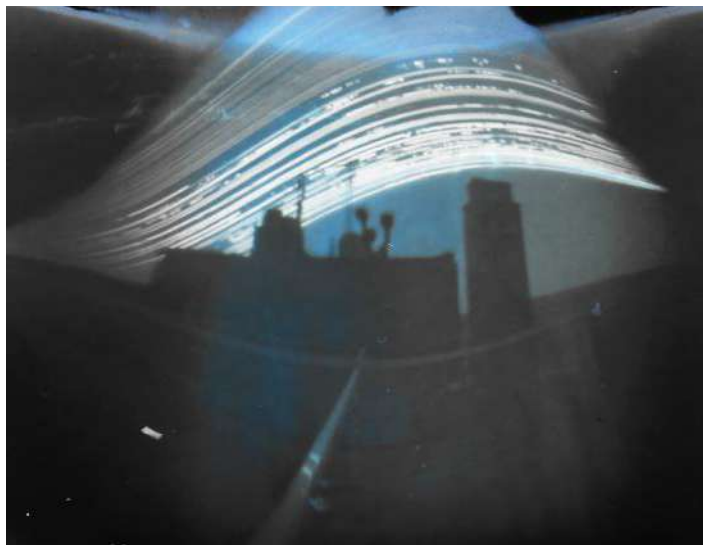
Aunque GIMP es muy potente y cuenta con muchas funcionalidades, el procesado de una solarigrafía es muy básico. Solo necesitamos hacer tres cosas:

1. Invertir los colores. Ya hemos visto que nuestra imagen es un negativo, para obtener una imagen en positivo hay que invertir los colores. En este momento los tonos naranja o sepia del negativo se convierten en azules, por eso en las solarigrafías predomina una tonalidad azul, a pesar de que para obtenerlas se usa papel fotográfico en blanco y negro.

2. Ajustar la orientación. Ya vimos que la cámara produce una imagen invertida, en función de cómo la coloquemos en el escáner será necesario girarla o reflejarla de una manera u otra hasta que quede en posición correcta (arriba – abajo, izquierda – derecha).

3. Ajustar brillo, contraste y saturación. Este paso es muy subjetivo, y depende del gusto personal del autor. Hay que tener paciencia y probar, porque pequeños ajustes pueden mejorar mucho la imagen.

Fig. 20 Solarigrafía procesada con GIMP



9. Cuándo realizar un proyecto de Solarigrafía.

Durante el primer trimestre, el docente explicará los conceptos que quiere trabajar con la realización de la solarigrafía.

Dado que el tiempo óptimo de exposición es de 6 meses entre solsticios, conviene preparar y colocar las cámaras antes del solsticio de invierno, que se produce muy cerca del comienzo de las vacaciones de Navidad, para recogerlas y procesar las solarigrafías en los últimos días del curso, lo más cerca posible del solsticio de verano.

10. Temas relacionados

Además de los conceptos puramente astronómicos relativos a la posición y los movimientos aparentes del Sol, las solarigrafías pueden servir para ilustrar otros conceptos, por ejemplo:

- Química: las reacciones de las sales de plata que hay en la emulsión fotográfica del papel.

- Física: presión atmosférica, tensión superficial, humedad relativa, condensación. Si una gota de agua no se cuela con facilidad por el estenopo, ¿por qué el papel está húmedo, o incluso hay agua dentro de la cámara?

- Matemáticas: Trigonometría en el diseño de la cámara y su colocación.

- Plástica: La composición de la imagen. Los grandes fotógrafos buscan lugares especiales para colocar sus cámaras y en ocasiones colocan objetos en primer término para obtener el efecto deseado.

- Para los apasionados de los relojes de Sol: ¿Qué relación hay entre la imagen de las trazas del Sol en la solarigrafía y las líneas de un reloj de Sol cilíndrico, también conocido como reloj de pilar o reloj de pastor? Se pueden consultar los enlaces siguientes.

https://www.mysundial.ca/tsp/cylinder_sundial.html

<https://www.shadowspro.com/en/cylindrical-sundial.html>

Espero ver vuestras solarigrafías en alguno de los medios de comunicación de ApEA.