

FOTOGRAFÍA ESTENOPÉICA

Introducción

Las cámaras fotográficas han avanzado técnicamente hasta cotas impensables hace unos años, pero todas ellas se siguen basando en los mismos principios que dieron lugar a esta técnica hace algo más de siglo y medio.

Lo que hacemos al tomar una fotografía, es controlar la cantidad de luz que llega a un material sensible. De lo avanzado de la cámara dependerá la exactitud con que podamos controlar esa cantidad de luz, y los márgenes entre los cuales podemos ejercer ese control.

Las cámaras fotográficas habituales, constan de un diafragma, que controla la cantidad de luz que llega a la película, y de un obturador, que controla el tiempo durante el cual está expuesta la película. Todos los demás controles que lleve cualquier cámara, son simplemente ayudas para controlar estos dos factores, principalmente para calcular los valores adecuados para cada toma.

Pero las cámaras que estamos acostumbrados a ver constan además de un sistema óptico para enfocar el sujeto, creando una imagen de éste sobre la superficie de la película.

La mayoría de nosotros tendemos a pensar que este sistema óptico es imprescindible, y que sin él no se puede hacer fotografía. Pero esto no es cierto, hay un tipo de fotografía en el que no existe este sistema óptico, es la llamada "Fotografía estenopéica".

¿Qué es una cámara estenopéica?

En pocas palabras, una cámara estenopéica es aquella que no tiene sistemas ópticos basados en la refracción de la luz, siendo sustituidos por un orificio, llamado estenopo, que es el encargado de formar la imagen.

Historia

Primeras observaciones y experiencias

Los principios básicos de los estenopos se encuentran ya en textos chinos del s. V a. C. Los chinos habían descubierto que la luz viaja en línea recta. El filósofo Mo Ti es el primero, que nosotros sepamos, que constató la formación de una imagen, invertida, en una pantalla a través de un orificio. Mo Ti se percató de que los objetos reflejan la luz en todas las direcciones, y que los rayos procedentes de un objeto, cuando pasan a través de un orificio, producen una imagen invertida en una pantalla, describiendo el fenómeno de la cámara oscura (Hammond 1981:1). De acuerdo con Hammond, no hay más referencias a la cámara oscura en textos chinos hasta el s. IX d.C., cuando Tuan Cheng Shih se refiere a una imagen en una pagoda. Shen Kua, más tarde, corrigió la explicación de la formación de la imagen. Yu Chao - Lung, En el s.X d.C. usó modelos de pagodas para formar imágenes estenopéicas en una pantalla. De todos modos, de estos experimentos no se derivó ninguna teoría geométrica sobre la formación de la imagen (Hammond 1981:2).

En el hemisferio occidental, Aristóteles (s. IV a. C.) comenta la formación de imágenes estenopéicas en su obra "Problemas". En el Libro XV,6, pregunta: "¿Por qué cuando la luz atraviesa un orificio cuadrado, o por ejemplo a través de un trabajo de cestería, no forma imágenes cuadradas sino circulares?[...]". En el Libro XV, 11 va más allá y se pregunta "¿Por qué en un eclipse de Sol, si uno mira a través de un tamiz o de una hoja de árbol, como las del platanero, o si uno une los dedos de una mano sobre los de la otra y mira al través, los rayos siguen formando una imagen en forma de creciente? ¿es por la misma razón por la que cuando los rayos brillan a través de un orificio cuadrado, siguen apareciendo en forma de un cono?..."(Aristóteles 1936: 333, 341). Aristóteles no encontró respuestas satisfactorias a estas observaciones, que permanecieron sin resolver hasta el s. XVI (Hammond 1981:5)

El médico y matemático árabe Ibn Al-Haitam (Albazen) experimentó con la formación de imágenes en el s. X d.C.. Dispuso tres velas alineadas y colocó una pantalla con un pequeño orificio entre estas y la pared. Notó que las imágenes eran formadas sólo a través de pequeños

agujeros y que la vela de la derecha formaba la imagen de la izquierda, y así sucesivamente. De aquí dedujo la linealidad de la transmisión de la luz (Hammond 1981:5).

En los siguientes siglos, la técnica estenopéica fue utilizada por investigadores de la óptica en varios experimentos acerca de la luz solar proyectada a través de un pequeño orificio.

Renacimiento y Post-renacimiento.

En el Renacimiento y los siglos siguientes la cámara oscura fue utilizada sobre todo para fines científicos en astronomía y, ayudados por las lentes, como ayudas para el dibujo por pintores y dibujantes amateurs.

Leonardo Da Vinci (1452-1519) describe la formación de imágenes estenopéicas en su "Codex atlanticus". En él describe la formación de imágenes del sol a través de orificios practicados en las paredes de una iglesia.

En 1475, el matemático y astrónomo renacentista Paolo Toscanelli colocó un anillo de bronce con una apertura en una ventana de la catedral de Florencia, que todavía está en uso. En días soleados, una imagen solar se proyecta a través del orificio sobre el suelo de la catedral. A mediodía, dicha imagen coincide con una marca en el suelo de la catedral. Este efecto fue utilizado para conocer la hora (Renner 1995:6).

En 1580 los astrónomos papales usaron un orificio y una marca similar en el Observatorio Vaticano de Roma para probar al papa Gregorio XIII que el equinoccio de primavera se había fijado incorrectamente en el 11 de marzo y no en el 21 de marzo. Dops años más tarde, después de cuidadosas consideraciones, Gregorio XIII corrigió el calendario Juliano en 10 días, creando con ello el calendario Gregoriano vigente hoy en día (Renner 1995:7).

Giovanni Battista della Porta (1538-1615), un científico napolitano, ha sido considerado el inventor de la cámara oscura por su descripción de una cámara oscura estenopéica en la primera edición de su "Magia Naturalis" (1558). Su descripción ha sido muy conocida, pero el no fué de ningún modo el inventor.

La primera imagen de una cámara oscura estenopéica es aparentemente un dibujo en "De Radio Astronomica et Geometrica"(1545), de Gemma Frisius. Gemma Frisius, un astrónomo, utilizó un estenopo en una habitación oscura para estudiar el eclipse solar de 1544. El término cámara oscura fue acuñado por Johannes Kepler (1571-1630). En ese momento el término indicaba una habitación o una tienda con un orificio y una lente usados por los artistas para dibujar paisajes. La lente permitía obtener una imagen más brillante y enfocarla a cierta distancia. Este tipo de cámara es distinto del usado por Frisius, que no tenía lente. En la década de 1620, Kepler inventó una cámara oscura portátil. Estas cámaras, utilizadas como ayuda al dibujo, se encontraron pronto en diversas formas y tamaños.

Durante el s.XIX, varias grandes cámaras oscuras fueron utilizados como lugares de educación y entretenimiento. Las lentes de menisco, superiores en calidad a las biconvexas, mejoraron las imágenes proyectadas. Varios edificios con cámaras oscuras permanecen en pie hoy en día. La Cámara Oscura en Royal Mile (Edimburgo); La Great Union Camera en Douglas (Isla de Man); El Observatorio Clifton en Bristol (Inglaterra); la cámara oscura de Portmeirion, (Gales del Norte); la Cámara Gigante de Cliff House (San Francisco); La cámara oscura de Santa Mónica (California) y otras muchas. Unas pocas cámaras oscuras de gran tamaño se han construido durante el S. XX

Primeras fotografías estenopéicas

Sir David Brewster, un científico inglés, fue uno de los primeros que practicó la fotografía estenopéica, en la década de 1850. Él también fué el que acuñó el término "pinhole" (denominación en inglés de las cámaras estenopéicas).

Sir William Crookes, John Spiller yWilliam de Wiveleslie Abney, todos en Inglaterra, fueron otros de los pioneros de la fotografía estenopéica. Las fotografías estenopéicas más antiguas que se conservan son, probablemente, las hechas por el arqueólogo inglés Flinders Petrie (1835-1942) durante las excavaciones en Egipto alrededor de 1880, dos de las cuales se reproducen en

Renner (1995:39,40). Pero hay que hacer notar que la cámara de Petrie contaba con una lente simple delante del estenopo.

Pictorialismo y fotografía estenopéica popular.

Al final de la década de 1880, el movimiento impresionista en la pintura ejerció una cierta influencia en el naciente arte fotográfico. Diferentes escuelas y tendencias se desarrollaron en la fotografía. La "vieja escuela" creía en imágenes nítidas y en lentes perfectas, mientras la nueva escuela, el "pictorialismo", intentaba captar la atmósfera de las nuevas tendencias en pintura. Algunos de estos pictorialistas experimentaron en la fotografía estenopéica. En 1890, George Davidson ganó el primer premio de la Exhibición Anual de la Photographic Society de Londres con una fotografía estenopéica, "An Old Farmstead", luego conocida como "The Onion Field". Este premio fué tan controvertido que provocó la escisión de la Photographic Society, para formar el grupo "Linked Ring". La fotografía de Davidson es reproducida en la obra de Renner (1995:42), y en varios libros de historia de la fotografía.

En 1892, el dramaturgo sueco August Strindberg comenzó a experimentar con la fotografía estenopéica. Alrededor de 100 obras de este autor se conservan todavía y 3 o 4 de ellas son imágenes estenopéicas.

La fotografía estenopéica se popularizó en la década de 1890, con la comercialización de varias cámaras estenopéicas en Europa, EEUU y Japón. En Londres, 4000 cámaras estenopéicas "Photominibuses" se vendieron en 1892. Estas cámaras parecían tener un status similar a las actuales cámaras desechables, y ninguna de ellas se ha conservado en las colecciones actuales. Unos años más tarde, una compañía americana inventó una cámara estenopéica desechable, la "Ready Photographer", consistente en una placa seca un estenopo en una lámina metálica y un fuelle. Otra compañía americana vendía la "Glen Pinhole Camera", que incluía seis placas secas, químicos de procesado, cubetas, un marco de positivado y papel rojo para la luz de seguridad. Pero la primera estenopéica realmente comercial fué diseñada por Dehors y Deslandres en Francia en 1887. Esta cámara tenía un disco rotatorio con 6 estenopos, en tres pares de similar tamaño. Imágenes de estas cámaras se pueden ver en Renner (1995:43).

La producción en masa de cámaras convencionales y el "neorealismo" del s. XX pronto arrinconaron la fotografía estenopéica. Por los años 30 la técnica apenas era recordada y sólo se utilizaba en la enseñanza. Frederick Brehm, en lo que luego sería el Rochester Institute of Technology, fué posiblemente el primer profesor universitario en desarrollar el valor educativo de la técnica estenopéica. Él fué quien diseñó la Kodak Pinhole Camera alrededor de 1940.

El renacer de la fotografía estenopéica.

A mediados de los 60, varios autores comenzaron a experimentar independientemente con la técnica estenopéica. Paolo Gioli en Italia, Gottfried Jäger en Alemania, David Lebe, Franco Salmoiraghi, Wiley Sanderson y Eric Renner en EEUU. Por pura coincidencia, muchos de estos artistas trabajaron con cámaras de varios estenopos. Sanderson era profesor de fotografía en la Universidad de Georgia, y enseñó fotografía estenopéica desde 1953 a 1988. Durante dicho periodo sus alumnos construyeron 4356 cámaras estenopéicas (Renner 1995:53)

Dos científicos estaban también trabajando en fotografía estenopéica, Kenneth A. Connors en EEUU y Maurice Pirenne en Gran Bretaña. Connors investigó sobre la definición y la resolución en las cámaras estenopéicas, sus resultados los publicó en su propio periódico, Interest. Pirenne, por su parte, utilizó los estenopos para estudiar perspectiva, publicando sus resultados en el libro "Optica, pintura y fotografía" (1970). En 1971, Time-Life Books publicó "The Art of Photography", en el que se incluyeron varias de las imágenes estenopéicas panorámicas de Eric Renner. El ejemplar de Junio de 1975 de Popular Photography publicó el artículo "Pinholes for the People", basado en una experiencia de Phil Simkin en el Museo de Arte de Philadelphia, donde puso a disposición del público 15.000 cámaras estenopéicas cargadas, cuyas imágenes eran reveladas y expuestas en el propio museo.

En la década de los 70, la fotografía estenopéica fue ganando popularidad, muchos fotógrafos experimentaron con ella y con procesos alternativos. Se comenzaron a publicar artículos y

algunos libros, entre los que destaca "The Hole Thing" de Jim Shull. Stan Page, historiador sobre fotografía de Utah, recopiló más de 450 artículos sobre el tema desde 1850. Los críticos, sin embargo, continuaban ignorando la fotografía estenopéica como arte, sobre todo en EEUU. En Japón, Nobuo Yamanaki comenzó a construir cámaras en los principios de los 70. Aunque la fotografía estenopéica iba ganando popularidad, pocos artistas conocían la obra de otros, puesto que no había entrado en los círculos establecidos para el arte.

En 1985, Lauren Smith publicó "The Visionary Pinhole", que constituyó la primera amplia recopilación de documentos sobre los diversos campos de la fotografía estenopéica. La primera exposición nacional de EEUU fue organizada por Willie Anne Wright, en el Institute of Contemporary Art del Virginia Museum en 1982. En 1988 la primera exhibición internacional "Through a Pinhole Darkly" se organizó en el Fine Arts Museum de Long Island, contando con cámaras e imágenes de 45 artistas. El mismo año se organizó en España, otra exhibición, en el Museo de Arte Contemporáneo de Sevilla, con la obra de 9 fotógrafos. Una tercera exposición se celebró, el mismo año, en el Centro para las Artes Contemporáneas de Santa Fé, en México. En el catálogo de esta última aparecía el artículo "Notes Toward Stenopaesthetic" de James Hugunin, uno de los más exhaustivos análisis de la situación de la fotografía estenopéica en los 80 (Renner, 1995:94). El libro de Eric Renner (1995) menciona un gran número de artistas de este tipo de fotografía que estuvieron activos en los 80, y da muestras de su trabajo. De acuerdo con este mismo autor, al menos seis cámaras estenopéicas comerciales se fabricaron durante esta época.

Eric Renner fundó en 1984 "The Pinhole Resource", un centro internacional de archivo y documentación sobre fotografía estenopéica. Los archivos incluyen más de 2000 imágenes. El primer número del "Pinhole Journal" apareció en diciembre de 1985. Hasta hoy ha publicado la obra de más de 200 artistas de varios países.

Con el advenimiento de la WWW, la fotografía estenopéica se introdujo en la Red. Uno de los primeros artistas en publicar su trabajo en Internet fué Harlan Wallach. En enero de 1995, Richard Vallon, de Louisiana estableció "The Pinhole Resource" en la Red.

Fotografía estenopéica en la ciencia.

La fotografía estenopéica se comenzó utilizando para fines científicos en el s. XVI, sobre todo en Astronomía y en el estudio de los eclipses solares. Ya en nuestro siglo, se descubrió que el principio de las cámaras estenopéicas podía ser aplicado en física nuclear, para la fotografía de alta energía, con rayos X y gamma. En los últimos años, también han sido utilizadas en la fotografía de alta energía de láser plasma. (Renner 1995:21)

Por qué de la fotografía estenopéica.

La fotografía estenopéica supone, de algún modo, una vuelta a los orígenes de la fotografía. Para un aficionado a este tipo de fotografía, el proceso de toma comienza con la construcción de la cámara. Pero no es sólo un planteamiento "romántico" de vuelta a los orígenes y abandono de la tecnología lo que nos mueve a internarnos en este tipo de fotografía.

Esta fotografía también salva algunas de las limitaciones de los sistemas ópticos, y, además, las fotografías tomadas por este método tienen una atmósfera que las hace distintas de las tomadas por cámaras habituales.

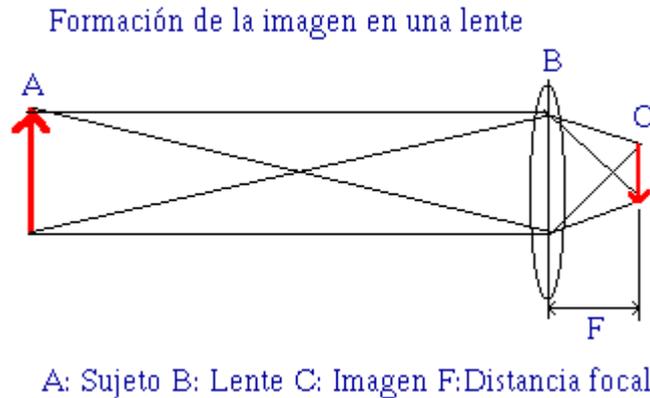
Óptica fotográfica

Limitaciones de los sistemas ópticos.

Las lentes utilizadas en fotografía tienen como misión formar sobre la película una imagen "virtual" de lo que hay al otro lado de la lente. Esto lo hacen concentrando en cada punto de la película todos los rayos de luz que llegan a la lente procedentes de un punto del sujeto.

Los objetivos utilizados en fotografía son complejos sistemas ópticos compuestos de varias lentes (hasta una docena) de distintas composiciones y formas, pero todos ellos (como

conjunto) son asimilables a una lente simple de determinada longitud focal. (Distancia a la cual los rayos luminosos paralelos procedentes del infinito convergen en un punto)



La forma en que una lente hace esto, mediante el fenómeno conocido por refracción, impone la primera limitación de los sistemas ópticos.

La profundidad de campo.

Se entiende por profundidad de campo el rango de distancias lente-sujeto para el cual un punto definido del sujeto aparece como un punto definido en el plano de la película. Todo punto del sujeto que esté fuera de ese rango aparecerá en el plano de la película como un "círculo de confusión". A efectos prácticos, se admite como profundidad de campo el rango de distancias para el cual esos círculos de confusión tienen un tamaño inferior a un límite que se acepta como la resolución práctica del ojo humano (influyendo en esto, aunque no se suele considerar, el grado de ampliación que vaya a tener la toma)

La profundidad de campo es causada por los distintos ángulos con los que llegan a la lente los rayos de luz procedentes de un punto del sujeto, dependiendo de la distancia a la que se encuentre.

Los factores que influyen en la profundidad de campo de un sistema óptico son principalmente dos:

- Distancia focal de la lente: es la distancia desde el centro de la lente hasta el plano en el cual dicha lente forma la imagen virtual. A mayor distancia focal menor profundidad de campo. Hay que tener en cuenta que, en un objetivo complejo, cuando cambiamos la distancia de enfoque estamos cambiando ligeramente la distancia focal de la lente.
- Diámetro del haz luminoso que llega a la película. A mayor diámetro, menor profundidad de campo. En un objetivo complejo este factor se controla mediante el diafragma.

Así pues, la profundidad de campo es un fenómeno intrínseco a todo sistema óptico que utilice la refracción para formar la imagen, es decir, a todos los objetivos compuestos de lentes, todos.

Distancia mínima de enfoque.

Esta no es una limitación intrínseca a los sistemas ópticos sino una limitación derivada de la forma en que los objetivos son construidos

Un objetivo se compone de varias lentes, cuyas potencias se suman para dar al conjunto una distancia focal efectiva. Dicha distancia focal se considera siempre con el objetivo enfocado a infinito y, si fuera invariable, sólo los objetos lejanos aparecerían enfocados. Para evitar esto, lo que se hace es dotar a los objetivos de un sistema de enfoque, que permite cambiar la disposición de determinadas lentes de forma que la distancia focal efectiva del conjunto, y la distancia del centro óptico de éste a la película, varíe.

Pero estos cambios tienen limitaciones de construcción del objetivo, de forma que, si se quiere mantener la capacidad de enfocar a infinito, para cada objetivo aparece una distancia mínima, por debajo de la cual el objetivo es incapaz de enfocar.

Esta distancia es la Distancia Mínima de Enfoque (DME), y es consustancial a la construcción de cualquier objetivo. Los objetivos de longitud focal corta suelen tener DME pequeñas, y los de longitud focal larga, DME grandes. Los objetivos llamados "Macro" están especialmente contruidos para, entre otras cosas, tener una DME menor que los objetivos equivalentes no "macro".

Distorsión de las líneas rectas.

Si bien este no es un problema general de los sistemas ópticos, si que lo es en los objetivos de distancias focales cortas. Consiste en una distorsión de las líneas rectas, más acusada cuanto más alejadas estén del centro del fotograma, y cuanto mayor sea el ángulo que formen con el eje del objetivo. Este fenómeno es debido al distinto ángulo que forman los rayos luminosos al incidir en la lente y, en consecuencia, el distinto ángulo con el que salen refractados para formar la imagen. Un ejemplo práctico de este fenómeno es la distorsión "en barril" que se produce en las líneas de un edificio al fotografiarlo en "contrapicado" con un objetivo gran angular.

¿Y en las estenopéicas?

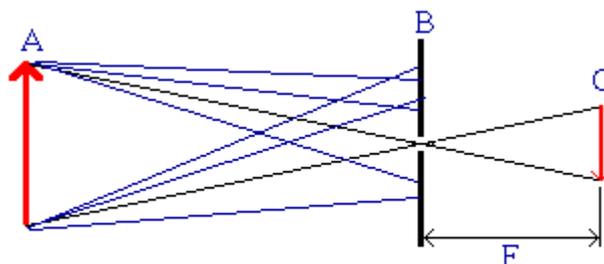
Las cámaras estenopéicas no utilizan sistemas ópticos basados en la refracción, es decir, el rayo de luz procedente del sujeto no es desviado de su trayectoria por ninguna lente, sino que sigue siempre una trayectoria recta desde el sujeto al plano de la película.

Esto elimina los problemas que hemos descrito, en una cámara estenopéica todo lo que entre dentro del campo de visión aparecerá enfocado en la película. Su profundidad de campo es infinita y su distancia mínima de enfoque cero, además, puesto que no se producen efectos de refracción, las líneas rectas serán rectas estén donde estén respecto al centro del fotograma y formen el ángulo que formen con el plano de la película, independientemente de la longitud focal de la cámara.

¿Cómo funciona una estenopéica?

Cada punto del sujeto refleja la luz que recibe en forma de un haz que se extiende en todas direcciones. Lo que hace una cámara estenopéica es seleccionar un único rayo de ese haz, de forma que todos los demás son rechazados y sólo uno llega a la superficie sensible, formando un punto de la imagen. Esto es una situación ideal, las cámaras estenopéicas reales lo que hacen es restringir la anchura de dicho haz luminoso, de tal manera que lo que se forma sobre la película son pequeños círculos.

Formación de la imagen en un estenopo



A: Sujeto B: Estenopo C: Imagen F: Distancia focal

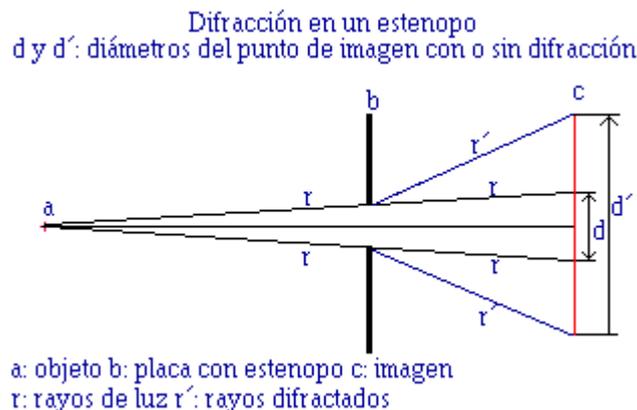
Cómo hacer una cámara estenopéica

Las posibilidades para construir una cámara estenopéica son prácticamente infinitas. Básicamente, consisten en una caja oscura, en uno de cuyos lados se coloca un material sensible y en el lado opuesto un pequeño orificio. Se pueden hacer a partir de elementos tan comunes como una caja de zapatos, una lata de galletas, una lata de conservas cualquiera, cartuchos de película de formato 110 o 126, etc. También se pueden hacer a partir de una cámara a la que se le quita el sistema óptico, o construirlas desde cero.

El estenopo.

Se conoce como estenopo el orificio encargado de restringir la entrada de luz en la cámara, esta es la parte fundamental de una cámara estenopéica. De su tamaño depende la calidad de la toma fotográfica.

Cuanto más pequeño sea este estenopo, más pequeño será el círculo de luz que forme sobre la placa sensible. Podría pensarse, pues que dicho estenopo debería ser tan pequeño como sea posible, pero a partir de cierto tamaño comienza a ser importante el fenómeno de la difracción, que podríamos describir como desviaciones del rayo luminoso que se producen en los bordes del orificio. Cuanto menor sea el agujero, mayor importancia cobrarán los fenómenos de difracción.



Esto reduce los tamaños utilizables a un estrecho margen en el cual el orificio es lo suficientemente pequeño como para que la formación de la imagen sea aceptable, y lo suficientemente grande como para que los fenómenos de difracción no disminuyan la calidad de imagen. Este margen variará con la distancia del orificio a la película (asimilable a la distancia focal en las cámaras convencionales). Se han propuesto muchas tablas de tamaños, de las cuales incluyo las más utilizadas.

Existen varias fórmulas para calcular el diámetro más adecuado para el estenopo, [Jon Grepstad](#) ha recopilado las más utilizadas:

Fórmula de Lord Rayleigh.

$$d = 1,9 \times \sqrt{l \times f}$$

Donde:

d = diámetro del estenopo

l = longitud de onda de la luz

f = Distancia focal o distancia del estenopo al material sensible.

Para la longitud de onda de la luz, se pueden utilizar distintos valores medios, pero normalmente se utiliza el valor de la luz amarilla. i.e. 0.00055 mm.

Renner propone distintas fórmulas con la forma general

$$r = \sqrt{l \times c \times f}$$

r = radio del estenopo

l = longitud de onda de la luz

c = constante, normalmente entre 0.5 y 1

f = Distancia focal

Platt (1989) utiliza la siguiente fórmula:

$$d^2 = f / k$$

Donde k es una constante (aprox.1300)

Bogre (1988)

Longitud Focal (mm)	Diámetro Estenopo (mm)	Nº f
50	0.29	f/174
75	0.35	f/213
100	0.41	f/246
125	0.45	f/275
150	0.50	f/203
200	0.57	f/348
250	0.64	f/389
300	0.70	f/426

Platt (1989)

Longitud Focal (mm)	Diámetro Estenopo (mm)	Nº f
130	0.33	380
210	0.40	500
260	0.46	550
320	0.50	650
420	0.58	690
550	0.66	800
650	0.74	930
750	0.79	960
1000	0.91	1120

Holter (1990)

Longitud Focal (mm)	Diámetro Estenopo (mm)	Nº f
10	0.14	70
20	0.20	100
30	0.24	125

40	0.28	140
50	0.31	160
60	0.34	180
70	0.37	190
80	0.40	200
90	0.42	214
100	0.45	220
150	0.54	280
200	0.63	318
250	0.70	360
300	0.78	380
350	0.84	418
400	0.89	450

La cámara y el material sensible.

Como ya he mencionado, la cámara se puede hacer a partir de muy variados elementos. El interior de la cámara debe ser pintado con pintura negra mate.

La zona donde se coloca el material sensible puede ser plana o cóncava. Si es plana, y el ángulo de cobertura de la cámara es muy amplio, la fotografía aparecerá viñeteada, esto es, con los bordes más oscuros que la parte central.

El material sensible puede ser película fotográfica en sus diferentes tipos, tales como placas película en rollo 120 o 220, cartuchos de formato 110 y 126, etc. Pero también se puede utilizar como material sensible papel fotográfico, con la ventaja de que no hará falta estar en total oscuridad para cargar la cámara, se puede utilizar una luz de seguridad. La principal desventaja del papel es su baja sensibilidad (alrededor de ISO8). Hay que tener en cuenta que en papel se obtendrá un negativo, que luego habrá que copiar para obtener un positivo.

Algunos cálculos

Para trabajar con una cámara estenopéica, hace falta primero conocer las características de dicha cámara, principalmente su número $f/$ para poder calcular la exposición necesaria.

Número $f/$

En una cámara estenopéica la apertura, o número $f/$, es constante, y viene dado por la distancia del estenopo al plano de la película y el diámetro del orificio, la relación es definida por la siguiente fórmula.

$$f = DF / \varnothing$$
$$f = F /$$

Siendo f el número de diafragma/, \varnothing el diámetro del estenopo y DF la distancia de este al material sensible.

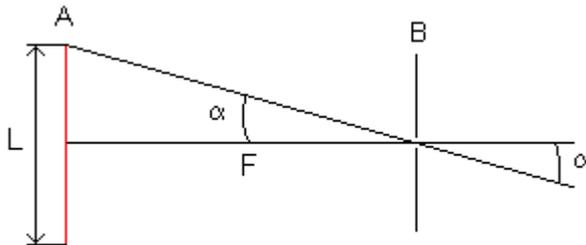
Se pueden hacer cámaras estenopéicas con distancias focales (DF) variables, en cuyo caso habrá que calcular el número de diafragma para cada distancia.(suele construirse una escala que se fija al cuerpo de la cámara)

Ángulo de cobertura.

A veces es importante conocer el ángulo de cobertura de la toma, para poder ajustar el encuadre, o poder construir un visor para la cámara.

A partir del siguiente esquema, podemos deducir por trigonometría el ángulo de cobertura, que será igual a 2α

Cálculo del ángulo de cobertura



A: plano de la película B: estenopo F: Distancia focal

L: Anchura de la película

$$\alpha = \text{atan}\left(\frac{L}{2 \times F}\right)$$

Siendo L la anchura de la película y F la distancia del estenopo a la película. Por lo tanto, el ángulo de cobertura es

$$A = 2 \times \text{atan}\left(\frac{L}{2 \times F}\right)$$

Hay que tener en cuenta que siguiendo este esquema hallaremos el ángulo de apertura horizontal, habrá que repetir el proceso si también deseamos calcular el ángulo de apertura vertical, empleando como valor de L la anchura de la película su altura.

Ejemplo práctico. Construcción de una estenopéica a partir de una caja de helado de 1 Litro

Para este proyecto empleamos una caja de helado de un litro debido a que por su tamaño resultaba adecuada para la realización de fotografías sobre placas fotográficas de 9 por 12 centímetros.

Al ser la parte interior de la tarrina blanca hubo que forrarla (podía haberse pintado) con un plástico negro de superficie mate pegando bien el plástico a las paredes interiores de la cámara para que no se formasen bolsas o se desprendiese.

Debido a la forma irregular de la cámara se podían tener problemas para situarla de un modo estático sobre alguna superficie para realizar las tomas, de modo que se acopló a la parte inferior de la cámara una rosca hembra de las mismas medidas que las utilizadas por los trípodes (rosca Whitworth de $\frac{1}{4}$ de pulgada). Se colocó en la cámara encastrándola en una pieza de madera que posteriormente se pegó a la parte inferior de la cámara.

Una vez preparada la cámara era necesaria la realización del estenopo. Este se realiza siempre sobre una pieza metálica lo más fina y rígida posible.

Hemos de calcular el diámetro más adecuado:

Una vez medida la cámara su distancia focal es de once centímetros, 110 milímetros.

$$\text{Lord Rayleigh } d = 1,9 \times \sqrt{l \times f} \Rightarrow 1,9 \times \sqrt{0,00055 \times 110} = 0,47$$

$$\text{Re nner } r = \sqrt{l \times c \times f} \Rightarrow \sqrt{0,00055 \times 0,75 \times 110} = 0,21$$

$$\text{Platt } d^2 = f / k \Rightarrow d = \sqrt{110 / 1300} = 0,29$$

Como se puede ver, el diámetro de los estenopos es un tema muy debatido.

Según los cálculos realizados en el momento se opto por un diámetro de 0,3 mm

El orificio se realiza con una aguja, no perforando por presión sino haciéndola girar suavemente a fin de que el agujero resulte lo mas circular posible.

Resulta adecuado realizar esta labor sobre una goma de borrar a fin de que la aguja se "apoye" sobre el estenopo de un modo regular. Conforme se avanza en la realización del estenopo se lija con una lija suave a fin de minimizar las rebabas.

El tamaño y perfección del estenopo se comprueba montando la pieza metálica en un marco de dispositiva y proyectándola a gran distancia (5-10m) sobre una pantalla, de este modo podemos ver si realmente el circulo es adecuado y podemos medir su diámetro habiendo puesto previamente en el proyector una diapositiva trasparente con una medida de un centímetro marcada en ella.

Mediremos el tamaño de la proyección de este dibujo en la pantalla construyendo así la primera mitad de una regla de tres:

$$10 \text{ mm (en la diapositiva)} \rightarrow 650 \text{ mm (en la pantalla)}$$

$$\times \text{ mm (diámetro del estenopo)} \rightarrow 19,37 \text{ mm (proyección del estenopo en la pantalla)}$$

De este modo hacemos el cálculo:

$$\varnothing = \frac{19,37 \times 10}{650} = 0,298 \text{ mm}$$

Generalmente para la realización de un buen estenopo hay que ser paciente, medir muchas veces, ir avanzando muy poco a poco y lijar también mucho.

Una vez obtenido el estenopo y calculado su diámetro se precisa conocer el número de diafragma de nuestra cámara para calcular el tiempo de exposición.

El número f es el número de veces que cabe el diafragma en la distancia focal, así que:

$$f = \frac{DF}{\varnothing}$$

Aplicando los datos obtenidos anteriormente

$$f = \frac{110}{0,298} = 369$$

Una vez conocidos estos datos hemos de hacer la exposición de la foto.

Tenemos el diafragma de nuestra cámara, pero nos falta conocer el tiempo de exposición necesario en función de la luz ambiente y de la sensibilidad de la película que vayamos a emplear.

En la caso de las placas fotográficas empleadas con la cámara que nos sirve de ejemplo se uso película de ISO 100/21°.

Para medir la luz emplearemos el fotómetro ajustado a la sensibilidad de la película que usemos en la cámara estenopéica (100 en este caso).

En este ejemplo, al tratarse de un día no solo nublado, sino con niebla, la medición a ISO 100/21° produce una combinación de diafragma f 2 y velocidad 1/125 segundos (¡¡Ojo, la velocidad habitualmente es una fracción, y aquí hemos de tenerlo en cuenta en nuestros cálculos!!!!)

Una vez obtenida esta información podríamos subir por la tabla de reciprocidad velocidad-diafragma hasta llegar al diafragma más parecido al nuestro (al haberlo calculado matemáticamente nuestro diafragma no será uno exacto, sino un punto intermedio que haya que aproximar).

Velocidad	Diafragma (f)	Velocidad	Diafragma (f)
1/125 s	2	64 s	172
1/60 s	2,8	128 s	256
1/30 s	4	256 s	344
1/15 s	5,6	512 s	512
1/8 s	8		
1/4 s	11		
1/2 s	16		
1 s	22		
2 s	32		
4 s	44		
8 s	64		
16 s	88		
32 s	128		

En este caso el tiempo de exposición fue de entorno a 300 segundos (5 minutos).

Otra posibilidad es usar la siguiente fórmula de conversión:

$$NTE_{exp} = VTE_{exp} \times \frac{NN^{\circ} f^2}{VN^{\circ} f^2}$$

De este modo, y tomando los datos anteriores, obtenemos:

$$NTE_{exp} = 1/125 \times \frac{369^2}{2^2} = \frac{1}{125} \times \frac{136161}{4} = 272 \text{ seg}$$

Un último aspecto a tener en cuenta es como actuar respecto a la sensibilidad en el caso de que usemos papel fotográfico, cuya sensibilidad es aproximadamente de ISO 3

El modo de hacerlo seria seguir convirtiendo valores en la tabla hasta ampliar el tiempo suficiente, pero con una pequeña modificación en la fórmula, obtenemos:

$$NTE_{exp} = VT_{exp} \times \frac{NN^{\circ} f^2}{VN^{\circ} f^2} \times \frac{VN^{\circ} ASA}{NN^{\circ} ASA}$$

Aplicando la fórmula:

Tras hacer una medición con el fotómetro de la cámara a ISO 100/21° y obteniendo una lectura de velocidad 125 y diafragma 8, para hacer una fotografía con esta cámara y con papel fotográfico de ISO 3/6° (Usaremos para hacer los cálculos el primer número del ISO, que corresponde al ASA y es el empleado habitualmente)

$$NTE_{exp} = 1/125 \times \frac{369^2}{8^2} \times \frac{100}{3} = \frac{1}{125} \times \frac{136161}{64} \times \frac{100}{3} = 567 \text{ seg}$$