

**TEMA 4:** *Formación de la imagen. Objetivos: tipos y características. Cálculos ópticos. Calidad óptica. Objetivos para fotografía, cine y vídeo: aplicaciones y criterios de selección.*

**Autora: Elena García Vicente**

### Esquema:

- 1.- Introducción.
- 2.- Formación de la imagen.
  - 2.1.- Tipos de lentes.
    - 2.1.a.- Lentes convergentes o convexas.
    - 2.1.b.- Lentes divergentes o cóncavas.
  - 2.2.- Construcción de las imágenes.
  - 2.3.- Construcción de las imágenes en las cámaras fotográficas.
- 3.- Objetivos: tipos y características.
  - 3.1.- Menisco.
  - 3.2.- Doblete y objetivo simétrico.
  - 3.3.- Triplete de Taylor.
  - 3.4.- Objetivo estándar.
  - 3.5.- Teleobjetivo.
  - 3.6.- Teleconvertidores afocales.
  - 3.7.- Gran angular.
  - 3.8.- Sistema zoom.
  - 3.9.- Objetivos especiales.
- 4.- Cálculos ópticos.
  - 4.1.- Caracterización de un sistema óptico.
  - 4.2.- Distancia focal.
  - 4.3.- Número f.
  - 4.4.- Profundidad de campo.
  - 4.5.- Distancia hiperfocal.
  - 4.6.- Factor de ampliación y reducción.
  - 4.7.- Profundidad de foco.
- 5.- Calidad óptica
  - 5.1.- Poder de resolución.
  - 5.2.- Acutancia.
- 6.- Objetivos para fotografía, cine y vídeo: aplicaciones y criterios de selección.
  - 6.1.- Objetivos para fotografía digital.
  - 6.2.- Objetivos para cámaras de vídeo.

7.- Conclusiones.

8.- Referencias bibliográficas y documentales.

## **1.- INTRODUCCIÓN.**

Las lentes se basan en el hecho de que la luz se desplaza más lentamente a través del cristal que del aire. Los objetivos son la parte más importante de una cámara o ampliadora.

Los objetivos fotográficos simples están formados por múltiples elementos para corregir las aberraciones originadas por la dispersión, la distorsión, etc. Haciendo uso de los controles del objetivo, se puede modificar una imagen. Esto está relacionado con las escalas de enfoque y con la apertura del objetivo (número f).

## **2.- FORMACIÓN DE LA IMAGEN.**

Para hablar de la formación de la imagen es necesario primero, hacer una introducción sobre la óptica y las lentes.

La óptica es la rama de la física que estudia la luz, su propagación y su interacción con la materia. Así, incluye la reflexión, la refracción y la absorción en instrumentos ópticos como lentes, espejos, prismas, etc. También abarca los aspectos fisiológicos de la visión.

### **2.1.- Tipos de Lentes.**

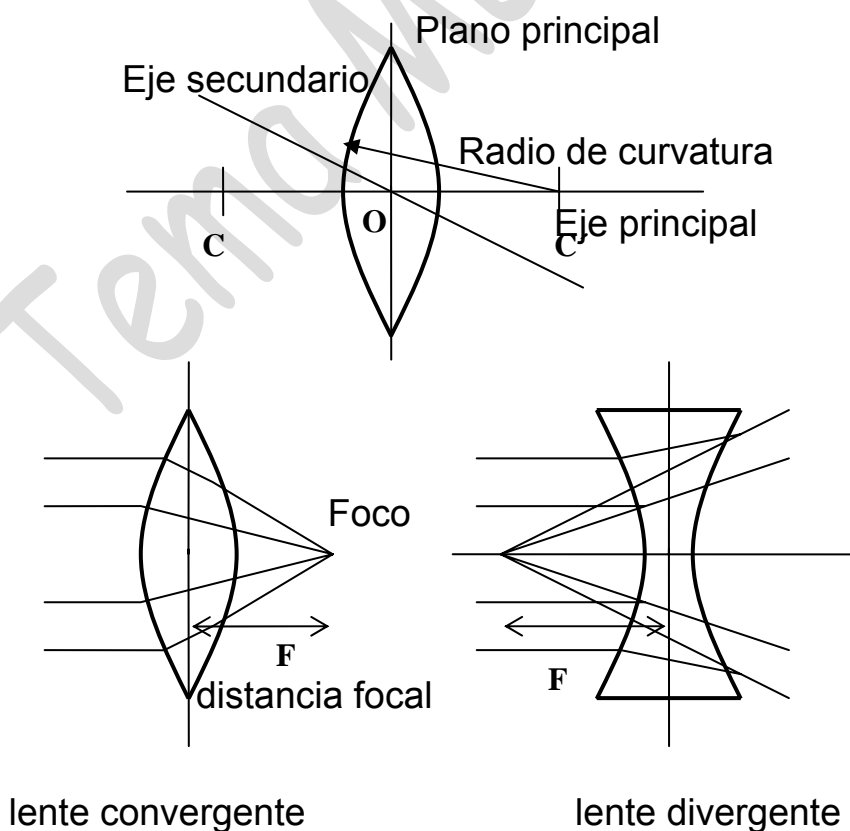
Los elementos ópticos positivos hacen converger la luz; tienen una distancia focal basada en la distancia de los rayos paralelos al punto focal. Existen tres tipos de superficies de lentes; convexas, cóncavas y planas. Entre las características de las lentes convergentes se destaca, que poseen diámetro, circunferencia y eje (recta que une los dos centros de curvatura); el eje pasa por el centro de la lente y es perpendicular al borde de la lente.

Las lentes delgadas son las empleadas en fotografía, cine y televisión, para la construcción de objetivos.

Los rayos luminosos tras atravesar una lente convergente se acercan entre sí, mientras que si la lente es divergente se separan. Toda lente formará imagen debido principalmente a dos causas, a su índice de

refracción y a la curvatura de sus superficies. Atendiendo a la segunda razón definimos los elementos que componen una lente simple:

- Eje principal o eje óptico: es la recta que une los centros de curvatura  $C$  y  $C'$  de las superficies esféricas que forman la lente.
- Ejes secundarios: son los rayos que pasan por el centro óptico sin desviarse.
- Centros de curvatura: son los radios que determinan la curvatura de la superficie de la lente, la incidente y la emergente,  $C$  y  $C'$ .
- Centro óptico: es el centro geométrico de la lente,  $O$ .
- Foco principal o foco objeto: es el punto del eje principal en el que se cortan los rayos que llegan paralelos al eje principal.
- Plano principal: es el plano normal al eje principal que pasa por el punto de contacto entre el rayo incidente y la superficie incidente de la lente. Hay un segundo plano principal que lo forma el plano normal al eje principal que pasa por el punto de contacto del rayo emergente con la superficie emergente de la lente
- Distancia focal: es la distancia entre el foco principal y el centro óptico. Las distancias focales objeto e imagen son iguales, y su inversa recibe el nombre de potencia de la lente y se expresa en dioptrías.



### **2.1.a.- Lentes convergentes o convexas.**

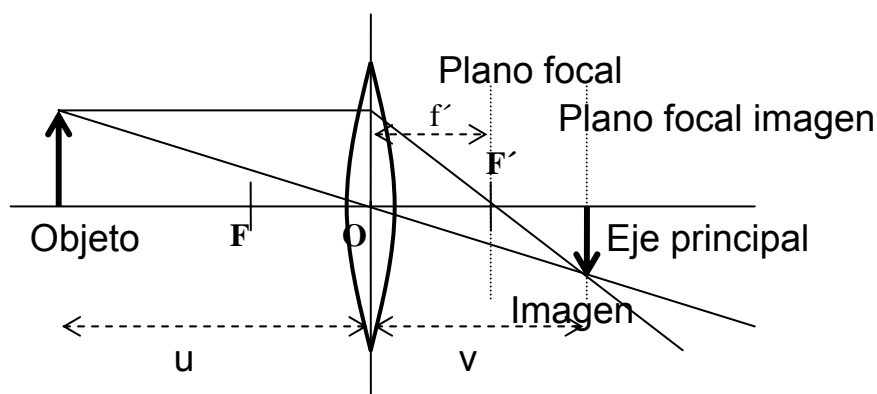
Se las llama también lentes positivas. Los rayos de luz, al atravesar una de estas lentes van a converger en un mismo punto, que es el foco. Son más gruesas en el centro que en los extremos. Las imágenes de las lentes convergentes son reales e invertidas. El tamaño de la imagen depende de la distancia del objeto a la lente. Cuanto más cerca está el objeto más grande será la imagen del mismo. El foco está siempre detrás de la lente, a la derecha de esta,  $f' > 0$ , siguiendo la dirección de la luz como referencia. Se utilizan para corregir defectos de la visión humana como la hipermetropía.

### **2.1.b.- Lentes divergentes o cóncavas.**

Se les llama también lentes negativas. Las imágenes de este tipo de lentes son virtuales, es decir, no se pueden recoger sobre ninguna pantalla. Por la forma de la lente los rayos no convergen en un punto, sino que al atravesar la lente divergen en todas las direcciones. El foco está delante de la lente, a la izquierda de esta,  $f' < 0$ , entre ésta y el objeto. Las imágenes son siempre más reducidas que el objeto. La imagen se encuentra entre el foco y la lente. Son más delgadas en la parte central que en los extremos. Se utilizan para corregir defectos de la visión humana como la miopía.

### **2.2.- Construcción de las imágenes.**

Para construir una imagen trazamos un rayo que es marginal y paralelo al eje óptico o eje principal del sistema, se refracta en la lente y parte desde el plano principal de la misma, cruzando el eje óptico por el foco imagen. El siguiente rayo pasa por el centro óptico de la lente, a consecuencia de lo cual no sufre ninguna desviación en su trayectoria, hasta cruzarse con el rayo marginal anterior. El último rayo que representaremos pasa por el foco objeto y atraviesa la lente, refractándose en el interior de la misma y partiendo perpendicularmente al eje óptico desde el plano principal de la lente se cruza con los dos anteriores.



La fórmula de las lentes delgadas permite relacionar la posición del objeto y de la imagen con la distancia focal.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{v} - \frac{1}{u}$$

F = distancia focal total.

u = distancia del objeto, distancia conjugada objeto.

v = distancia de la imagen, distancia conjugada imagen.

Tanto en las lentes convergentes como en las divergentes hay dos posibilidades para situar el espejo; más lejos de la lente que el foco objeto (imágenes reales) o entre ambos (imágenes virtuales). En el caso de las lentes divergentes hay dos posibilidades de situar el espejo; más lejos de la lente que el foco objeto o entre ambos, en ambos casos las imágenes que se forman son virtuales.

Las lentes convergentes para objetos alejados, forman imágenes reales, invertidas y con menor tamaño que los objetos. Para objetos próximos forman imágenes virtuales, derechas y de mayor tamaño.

Las imágenes producidas por las lentes divergentes son virtuales, derechas y menores que los objetos.

Las lentes u objetivos forman imágenes invertidas utilizables fotográficamente, salvo cuando el sujeto se encuentra a menos de una distancia focal del objetivo. En ese caso se convierten en cristales de aumento. Un objetivo se corrige para que dé una aceptable calidad de imagen o un poder de cobertura aceptable sobre una superficie predeterminada. La distancia focal con relación a la diagonal del formato del negativo regula el ángulo visual (dentro del poder de cobertura del objetivo). El cambio de distancia focal altera el tamaño de la imagen, y por lo tanto, el ángulo visual.

Los defectos ópticos geométricos en el comportamiento de los objetivos, que causan degradación en la calidad de la imagen en relación a un objetivo perfecto, son las aberraciones y cuando se habla de calidad y precisión de un objetivo se refiere al grado de corrección de estas aberraciones. Producir un objetivo consiste precisamente en equilibrar las aberraciones de tercer orden y mayor orden de manera que queden reducidas al mínimo. No es posible eliminarlas del todo, siendo estos residuos los que determinan la calidad de un objetivo. El diseñador se encuentra con el problema de tener que corregir siete principales aberraciones de los objetivos conocidas como aberraciones Seidel, dos aberraciones axiales que son la esférica y la cromática y cinco no axiales que son la cromática lateral, coma, astigmatismo, curvatura de campo y distorsión curvilínea.

### **2.3.- Construcción de las imágenes en las cámaras fotográficas.**

Una cámara fotográfica es un compartimento opaco, en el que la luz reflejada por los objetos penetra a través del objetivo para llegar a la película, en donde quedará impresionada la imagen. Mediante el visor de la cámara, seleccionamos el encuadre que nos parece más idóneo para la fotografía que deseamos realizar y enfocamos la misma con el anillo de enfoque que está situado en el propio objetivo. En el interior del objetivo se encuentra el diafragma, uno de los mecanismos que nos permite controlar la exposición de la película, un anillo regulable que se abre y se cierra mediante unas laminillas. Su abertura se ajusta mediante el denominado número  $f$ , que es el cociente entre la longitud focal del objetivo y el diámetro del mismo. El diafragma se cierra al número  $f$  seleccionado cuando apretamos el disparador de nuestra cámara.

Al disparar la cámara, el espejo situado en su interior, que sirve para reflejar la imagen hacia el visor, se levanta y deja que la luz llegue libremente al plano focal, en donde se encuentra la película. El diafragma se cierra según el diámetro de orificio seleccionado, y el obturador se abre durante el tiempo marcado y vuelve a cerrarse; al final del proceso, el espejo recobra su posición inicial.

Todas estas operaciones se realizan en un instante, tras el cual la imagen queda registrada en la película debido a la capacidad de ésta de reaccionar a la acción de la luz.

### 3.- OBJETIVOS: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS.

Una de las principales herramientas del fotógrafo es el objetivo de toma, cuya característica principal, la distancia focal, determina el ángulo de encuadre y, con ello, la relación aparente entre los diferentes elementos de la escena. Por esta razón, todas las cámaras profesionales y semiprofesionales tienen objetivos intercambiables para incrementar su versatilidad.

El objetivo fotográfico consiste en una serie de lentes pulidas con diferentes radios de curvatura, construidas con cristales especiales de gran homogeneidad, que sirven para corregir las aberraciones que pueden producir cierta divergencia de los rayos solares, que proyecta la imagen sobre un plano. El contraste y definición de la imagen dependen, por lo tanto, de la calidad de los cristales empleados así como del diseño y de la construcción del sistema óptico.

El primer aspecto que interesa de un objetivo es su compatibilidad con la cámara, es decir, el tipo de montura o enganche. El más utilizado es la bayoneta debido a que las monturas a rosca prácticamente no se utilizan.

En lo que se refiere al rendimiento o posibilidades, lo más importante es la distancia focal que determina el ángulo de cobertura, además de la luminosidad o máxima abertura de diafragma. El objetivo cuya distancia focal es aproximadamente la diagonal del negativo para el cual ha sido diseñado se denomina "normal". Para las cámaras de 35 mm esta comprendido entre 46 y 55 mm, mientras que para las cámaras de 6x6 es entre 75 y 80 mm. Todos los objetivos que tienen una distancia focal mayor se denominan genéricamente teleobjetivos y aquellos cuya distancia focal es menor, gran angulares.

Los objetivos de las cámaras fotográficas se clasifican por su luminosidad o rapidez; cuanto menor sea el número  $f/$ , mayor será la luminosidad y más rápido el objetivo. Desde la invención de la fotografía los objetivos han evolucionado en unos tipos o familias básicas de diseño, el primer objetivo era un menisco, actualmente se utilizan sistemas ópticos, que se describen a continuación de forma cronológica.

Para conseguir nuevos objetivos se estudian trayectos de rayos y se van variando los parámetros (grados de libertad) para que la zona donde llegan los rayos sea lo más pequeña posible. La evolución de los objetivos se paró en los años 20 cuando el trayecto de los rayos y la modificación de los parámetros se hacía con una tabla de logaritmos y una regla de cálculo; y se reanudó en los 60 con los ordenadores.

### **3.1.- Menisco.**

Se le conoce también como objetivo de un solo elemento. Fue el primer sistema utilizado. Solamente tiene tres grados de libertad (dos radios y un índice de refracción). Con este sistema no se pueden corregir aberraciones.

### **3.2.- Doblete y objetivo simétrico.**

Se intenta corregir la aberración cromática con dos tipos de vidrio, uno flint (menisco convergente) y otro crown (menisco divergente) pegados o separados. Si el doblete está separado tengo siete grados de libertad, si está pegado son cinco grados. Corrige muy bien las aberraciones cromáticas y esféricas, en eje. Trabaja muy bien en eje pero fuera de campo no es bueno. Es una lente típica del telescopio refractor. En fotografía surgió para acortar las largas exposiciones de los daguerrotipos.

### **3.3.- Triplete de Taylor.**

Está formado por dos lentes convergentes simétricas entre las cuales hay una lente divergente. Este sistema corrige aberraciones en eje y fuera de él (coma y astigmatismo), es decir, para todo el conjunto, en lugar de para las dos mitades como se hacía en los dobletes.

### **3.4.- Objetivo estándar.**

Se le pide que tenga un ángulo igual al del ojo. 50mm es el objetivo estándar para películas universales. El ángulo que fotografío es más o menos el que es capaz de ver cada ojo. Da el tamaño del objetivo y de la fotografía. El ángulo viene dado por el rayo que pasa por el centro de la lente (este rayo no se desvía).

### **3.5.- Teleobjetivo.**

La focal de un teleobjetivo es mayor de 50mm. Técnicamente, el término teleobjetivo se refiere a una clase particular de disposición óptica que tiene un elemento frontal positivo y un elemento posterior negativo. Esto permite que la distancia física de un objeto sea menor que la distancia focal. El tiempo máximo de obturación debe ser una cifra similar a la distancia focal. De esa manera, el tiempo máximo de obturación para los objetivos entre 85 y 135 mm sería 1/125, de 150 a 250 mm en el orden de 1/250, entre 300 y 400 mm de 1/250 o 1/500 de seg. Se utilizan para conseguir un efecto de compresión de los planos, para agrupar sujetos, reducir la impresión de profundidad, etc.



Como los teleobjetivos tienen un ángulo limitado, la proporción de distorsión dentro del campo también es limitada, son los que tienen mayor ángulo de visión más estrecho. La mayor parte de los teleobjetivos actuales son derivados del primer teleobjetivo creado por Dallmeyer, aunque si producen aumentos inferiores a 2x, pueden tener antecedentes simétricos o de triplete.

La escala de teleobjetivos más común es: 85 mm, 100 mm, 135 mm, 180 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm y 500 mm.

Los teleobjetivos de 85 a 100 mm se conocen también como "objetivos para retratos", ya que esa es la distancia focal ideal para este tipo de fotografía. A partir de los 135 mm resultan adecuados para fotografías de deportes y de acción y, en particular los de 300 a 500 mm, también para fotografía de naturaleza.

### **3.6.- Teleconvertidores afocales.**

Conocidos también como duplicadores, ya que ésta es su principal utilidad. Es un sistema óptico compuesto utilizado en combinación con un objetivo fotográfico normal para modificar su distancia focal sin afectar a la distancia focal posterior. Son muy útiles en las cámaras que no tienen posibilidad de intercambiar objetivos. Es afocal porque no forma foco, esto quiere decir, que los rayos luminosos que salen del convertidor y entran en la cámara son prácticamente paralelos.

### **3.7.- Gran angular.**

Si la combinación convergente - divergente aumenta la focal, montando los elementos al revés el efecto será el contrario. Cuando se utilizan sistemas con focales muy altas se utilizan catadióptricos, semejantes al telescopio. El gran angular es el sistema más complejo. Variando los objetivos se puede convertir un teleobjetivo en un gran angular. La focal de un gran angular es menor que 50 mm, típicamente de 28 mm. Aunque los hay de 16 y 18 mm. Los "ojos de pez" pueden incluir casi los 180° pero con imagen muy distorsionada.

Un objetivo gran angular tiene una distancia focal más corta que un objetivo normal para cámara, por lo tanto, tiene también una mayor profundidad de campo, de este modo abarca un mayor ángulo de vista que el objetivo normal. Son los objetivos de menor longitud focal. La escala más común de distancia focales de los gran angulares es 35 mm, 28 mm, 24 mm, 20 mm y 15 mm aproximadamente (los hay de 16 mm, 21 mm, 25 mm, etc. según el fabricante y el modelo).

Se utilizan para fotografiar lugares donde el espacio es limitado. Se distinguen por proporcionar una gran profundidad de campo y, desde un punto de vista estético, magnifican los primeros planos con líneas de fuga muy acentuadas. El gran angular introduce al espectador dentro de la escena.

### **3.8.- Sistema zoom.**

Cumple dos condiciones: focal variable para tener aumentos a voluntad y, la posición física del foco se mantiene constante para no perder profundidad de foco.

El plano principal oscilará de modo que habrá un rango de focales. Para conseguir variar la focal se utiliza el desplazamiento de los elementos ópticos móviles. Se colocan dos elementos convergentes entre los cuales hay uno divergente. Se mueven los convergentes del mismo modo, así la focal cambia, aumenta. Pero la posición del foco no permanece igual. De este modo no se cumple la segunda condición.

Al accionar la ruleta de compensación óptica el objetivo oscila entre dos posiciones. Otro tipo de compensación es la mecánica en la que los dos elementos no son solidarios, se mueven con un paso de tornillo distinto. Por compensación óptica no es posible mantener la posición del foco pero sí se puede por compensación mecánica.

Los objetivos zooms también tienen desventajas; el peso y el tamaño, la interreflexión especialmente en situaciones con iluminación de fondo, los lentes zooms pueden brillar considerablemente, dispersando la luz a través de la fotografía. Un gran inconveniente es que son más lentos, es decir, tienen aberturas máximas más pequeñas que los objetivos equivalentes de distancia focal fija, la mayoría de los zooms tienen una apertura máxima variable que se achica (permitiendo el paso de menos luz) a medida que se mueve hacia las longitudes focales más largas del objetivo. La apertura más pequeña significa menores velocidades de obturación, lo que aumenta la probabilidad de borrosidad debido al movimiento de la cámara o de los sujetos, al entrar menos luz, una pequeña apertura hace que el enfoque sea más difícil, también, especialmente en niveles bajos de luz.

Variar la distancia focal de un zoom afecta además de al tamaño de la imagen en la cámara, a otros tres elementos; la distancia aparente entre los objetos en la escena, el tamaño relativo de los objetos a distancias diferentes y, la velocidad aparente de movimientos de los objetos acercándose o alejándose de la cámara.

Se utiliza para dar sensación de amplitud, exagerar distancias entre objetos o la profundidad de recintos, etc.

### 3.9.- Objetivos especiales.

Para determinados fines existen objetivos específicos en cuyo diseño, al margen de la distancia focal o de la luminosidad, presentan ciertas particularidades. Por ejemplo están los objetivos descentrables (Shift), que permiten hacer correcciones de perspectiva en la fotografía de arquitectura. Los "macro" proporcionan su máximo rendimiento en muy cortas distancias de enfoque y, asociados a tubos o fuelles de extensión, permiten tomas de calidad en escala 1:1 e incluso mayor, ya sea de objetos tridimensionales o para reproducir diapositivas y negativos. Por último, existen algunos objetivos "soft" -suaves- para retratos comerciales o aplicaciones pictóricas y creativas.

## 4.- CALCULOS ÓPTICOS.

### 4.1.- Caracterización de un sistema óptico.

El sistema queda caracterizado por la posición de los focos F y F' y de sus planos principales. La relación de conjugación o fórmula de Gauss, esto es, la relación entre la posición del objeto y de la imagen se puede expresar como:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v}$$

donde u y v son las distancias frontales objeto e imagen, respectivamente, y F es la distancia focal imagen de la lente. Todas estas distancias se miden desde los planos principales correspondientes.

La relación entre el tamaño del objeto y el tamaño de la imagen se denomina aumento lateral, M, y viene dado por

$$M = \frac{I}{O} = \frac{v}{u}$$

siendo O, e I el tamaño del objeto y la imagen, respectivamente.

## 4.2.- Distancia focal.

La distancia focal es la distancia comprendida entre el centro de la lente y el punto focal. El punto focal o foco principal, es el punto del eje óptico, situado en el plano focal, donde se reúnen los rayos de luz cuando el objetivo está enfocando al infinito.

Se denomina distancia focal a la distancia existente entre la película (plano de la película), y el centro óptico de la lente del objetivo, cuando se enfoca al infinito. De la longitud focal depende el ángulo de visibilidad de cada objetivo, permitiendo abarcar mayor o menor parte de la escena que se quiere fotografiar. A mayor longitud focal menor ángulo de visión y viceversa. La distancia focal se representa con la letra F (f se utiliza para nombrar diafragmas). Matemáticamente la distancia focal de una lente se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \text{ en mm.}$$

donde n es el índice de refracción del cristal empleado y r1 y r2 son los radios de curvatura de la lente. En cuanto a los signos de los radios estos serán negativos si se trata de una lente divergente y positivos si se trata de una lente convergente. Así mismo si el resultado total de la operación matemática tiene signo positivo se tratará de una lente convergente y divergente si el resultado es negativo. Por esta razón reciben el nombre también de positivas, las lentes convergentes, y negativas las divergentes. La fórmula matemática de arriba se aplica en el caso de que se trate de una sola lente. Si se trata de dos o más lentes la expresión matemática sería la siguiente:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} - \frac{\text{separación entre lentes}}{F_1 \cdot F_2}.$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{F_1} + \frac{1}{F_2} \text{ para el caso de que estén juntas}$$

$$F = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_1 + F_2 - S} \text{ para el caso de estén separadas (S = distancia que separa las lentes).}$$

La potencia de una lente es la inversa de su distancia focal imagen, nos da una idea del poder de aumento de la lente, se mide en dioptrías y matemáticamente se expresa: dioptrías = 1/distancia focal en metros.

$P = \frac{1}{F}$ . El signo de la potencia focal es el mismo que el de la distancia focal imagen, por lo que la potencia de una lente convergente es positiva,  $P > 0$ , y la de una lente divergente es negativa,  $P < 0$ .

El tamaño de la imagen depende de tres factores, el primero de ellos es el tamaño del sujeto a fotografiar, el segundo, la distancia que existe entre el sujeto y el objetivo de la cámara, y por último, el tercero, la distancia focal del objetivo. Existe una relación directa entre la distancia focal y el tamaño de la imagen del sujeto que se registra sobre la película: a mayor distancia focal, mayor es la imagen sobre la película. El tamaño de la imagen varía proporcionalmente a la distancia focal.

El ángulo máximo de visión viene dado por el diámetro de exploración y por la distancia focal.

$$\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{h/2}{F}$$

$$\alpha = 2 \cdot \frac{\arctan\left(\frac{h}{2}\right)}{F}$$

h = ancho target o fotograma

F = distancia focal

#### 4.3.- Número f.

Se denomina luminosidad, apertura relativa o número f/, al cociente entre la distancia focal de un objetivo y el diámetro de su abertura efectiva.

Se calcula matemáticamente mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Número } f = \frac{F}{D}$$

F = distancia focal.

D = diámetro de la abertura efectiva.

$$n^{\circ} f = \sqrt{\frac{\text{tiempo\_exposición} \cdot \text{iluminación} \cdot \text{sensibilidad}}{\text{distancia}}} = \sqrt{\frac{\text{seg} \cdot \text{lux} \cdot \text{ASA}}{\text{cm}}}$$

#### 4.4.- Profundidad de campo.

La profundidad de campo comprende la distancia entre el objeto más próximo y más lejano que tienen un foco aceptable, están enfocados.

El enfoque crítico se produce a una distancia concreta, pero hay una zona por delante y por detrás de esta donde se considera que el foco es aceptable, suficientemente nítido. Esta zona no se distribuye simétricamente por delante y por detrás, sino que por detrás es aproximadamente dos tercios de la zona enfocada y por delante un tercio.

Los factores que influyen en la profundidad de campo son:

- Distancia cámara-sujeto: a mayor distancia (objetos lejanos) mayor profundidad de campo.
- Distancia focal del objetivo: a menor distancia focal mayor profundidad de campo.
- El diafragma: a menor abertura (mayor  $n^\circ f$ ) mayor profundidad de campo.

Los objetos situados que están por delante y por detrás del punto de enfoque, no van a aparecer enfocados nítidamente sobre el mosaico, sino que sus rayos van a converger un poco por delante o por detrás del target, dando lugar a un círculo de confusión. El tamaño del diámetro del círculo de confusión viene dado por la siguiente expresión:

$$C_c = \frac{F}{1.000} = \frac{0,25mm}{M}$$

donde C es el diámetro del círculo de confusión en mm y, F es la distancia focal que se considera normal para el formato utilizado (50 mm en el formato cinematográfico de 35 mm.)

Los límites próximo y lejano de la profundidad de campo, se calculan en base a las siguientes expresiones:

$$D_a = \frac{H \cdot u}{H + (u - F)} \quad D_p = \frac{H \cdot u}{H - (u - F)}$$

La profundidad de campo se expresa como la diferencia entre el límite lejano y el cercano.  $D = D_p - D_a$

$D_a$  = límite anterior de la profundidad de campo, límite próximo.

$D_p$  = límite posterior de la profundidad de campo, límite lejano.

H = distancia hiperfocal.

F = distancia focal.

u = distancia objetivo-sujeto (distancia a la que se enfoca).

Se puede simplificar para objetos distantes:  $(u - F) = u$

#### 4.5.- Distancia hiperfocal.

La distancia hiperfocal se podría definir como aquella existente entre el objetivo y el primer punto nítido obtenido al enfocar al infinito.

El conocimiento de esta distancia por parte del fotógrafo, resulta muy útil pues enfocando exactamente a esa distancia se consigue la mayor profundidad de campo para un diafragma dado. Si enfocamos el objetivo a infinito tendremos foco desde infinito hasta un punto (x) cercano a la cámara. La distancia desde la cámara a este punto más cercano con foco se llama distancia hiperfocal.

Si enfocamos nuestro objetivo en ese punto (x) tendremos foco desde la mitad de la distancia a la que se encuentra ese punto hasta infinito. La expresión matemática para calcular la distancia hiperfocal es la siguiente:

$$H = \frac{F^2}{f \cdot C_c} \qquad H = \frac{F^2 \cdot u}{d \cdot (u - F)}$$

donde:

H = distancia hiperfocal

F = distancia focal

f = número de la apertura del diafragma

Cc = diámetro del círculo de confusión

#### 4.6.- Factores de ampliación y reducción.

A igual distancia del sujeto a la lente, un objetivo de distancia focal corta produce una imagen más próxima, y por lo tanto más pequeña que uno de mayor distancia focal. Por lo tanto el tamaño de la imagen está en función de la distancia focal.

Por otra parte, la distancia de formación de la imagen, y por tanto su tamaño, depende de la distancia a que se halla el sujeto de la lente. A medida que el sujeto se acerca al objetivo, los rayos luminosos llegan a la lente con un ángulo de incidencia cada vez mayor, por lo que la lente hace converger los rayos cada vez más lejos del objetivo y por lo tanto la imagen aumenta de tamaño a medida que el sujeto se acerca.

En una cámara al enfocar un objeto cercano, lo que hacemos es separar el objetivo, del plano de la película, ya que al acercarse el objeto, la imagen se forma más lejos, por eso los objetivos aumentan su longitud a medida que enfocamos más cerca y ocupan menor tamaño enfocados al infinito.

La relación entre la altura de la imagen y la altura del sujeto se denomina factor de ampliación.

$$M = \frac{I}{O} = \frac{v}{u} = \frac{D-u}{u} = \frac{v}{D-v} = \frac{F}{u-F} = \frac{v-F}{F}$$

M = ampliación o factor de ampliación de un objetivo.

I = altura de la imagen.

O = altura del objeto.

D = distancia total entre objeto e imagen.

La relación entre la altura del objeto y la altura de la a imagen se denomina factor de reducción.

$$R = \frac{O}{I} = \frac{u}{v} = \frac{D-v}{v} = \frac{u}{D-u} = \frac{F}{v-F} = \frac{u-F}{F}$$

R = reducción o factor de reducción.

#### 4.7.- Profundidad de foco.

Profundidad de foco es la distancia dentro de la cual puede desplazarse la película desde su posición de enfoque exacto sin que se altere la definición de la imagen de un objeto plano enfocado. La expresión matemática para calcular la profundidad de foco es la siguiente:

$$P = \frac{c \cdot v \cdot f}{F}$$

donde;

P = profundidad de foco.

c = diámetro del círculo de confusión

v = distancia desde el objetivo a la imagen. Para objetos muy distantes v es prácticamente igual a la distancia focal.

f = número abertura del diafragma

F = distancia focal del objetivo

#### 5.- CALIDAD ÓPTICA.

La calidad de un objetivo se mide por su poder de resolución, es decir, por su capacidad de mantener separados en la fotografía puntos que se encuentran cercanos en la realidad. Cuanto mayor sea la capacidad del objetivo de mantener como individualizados en la imagen los detalles



sutiles del motivo mayor será el poder de resolución de la óptica. La impresión general subjetiva de claridad y detalle en una imagen fotográfica se denomina definición.

La calidad de la imagen está tan determinada por la definición de los detalles más finos (poder resolutor) como por la manera en que la imagen reproduce los elementos estructurales mayores, y más fácilmente perceptibles. Como regla general, podemos decir que: cuanto más amplia y fiel es la gama de grises intermedios, tanto mayor es la calidad de la imagen. Es evidente también que el grado de exactitud de la reproducción tonal depende de la mayor o mejor definición de sus elementos estructurales.

Los factores susceptibles de medición que contribuyen a la calidad óptica son varios, los más importantes son la resolución, el contraste, que se determinan mediante los diagramas de poder de resolución y, la acutancia.

### 5.1.- Poder de resolución.

El poder de resolución se refiere a la capacidad para resolver o distinguir dos objetos que están muy juntos. Se denomina poder de resolución a la capacidad de un objetivo o de un material fotográfico para separar el detalle fino. Se cuantifica de forma matemática mediante la siguiente expresión:

$$P.R. = \frac{1}{\lambda \cdot f} \text{ líneas / mm.}$$

$\lambda$  = longitud de onda de la luz en mm.

f = número f utilizado (apertura relativa del objetivo).

Para medir la resolución de un determinado objetivo se utilizan los diagramas de poder resolución, que consisten en unas tramas o grupos de líneas negras sobre fondo blanco o líneas blancas sobre fondo negro. La anchura es igual para la línea negra que para la blanca, la combinación de ambas franjas constituye una línea de resolución. En un diagrama de resolución suele haber varios grupos de líneas con anchuras que decrecen progresivamente de un grupo a otro.

El contraste es otra característica del diagrama de poder de resolución. Se mide como la relación de luminosidad entre las áreas claras y oscuras.

La evaluación de un objetivo con diagramas de resolución se realiza montando una serie de diagramas pequeños sobre una superficie plana, de forma que cubran el campo de visión del objetivo. Un conjunto de estos diagramas se dispone con sus líneas y espacios dirigidos hacia el centro del campo, este conjunto sirve para determinar la resolución radial. El otro conjunto se orienta con sus líneas y espacios en ángulo recto al primero para determinar la resolución tangencial. Se examinan las imágenes de los diagramas y observamos la trama más fina que ha sido resuelta.

Se han de considerar los medios por los que una trama ha sido evaluada, es decir, fotográficamente, visualmente o a través de un canal de televisión.

Cuando el contraste entre áreas oscuras y claras se hace cero por primera vez, se alcanza el límite de resolución del objetivo.

Se ha de considerar otro aspecto importante de la formación de la imagen, se refiere a la manera en que el objetivo reproduce el borde que separa un área clara de un área oscura, y se denomina gradiente de borde.

El gradiente de borde se define como la forma de la curva que describe la transición de luminosidad desde un área clara a un área oscura.

## 5.2.- Acutancia.

Este término define la nitidez de una imagen fotográfica. La acutancia expresa el grado de definición existente entre los bordes que limitan las zonas con diferentes densidades. El concepto de acutancia es una manera de evaluar la información que proporciona la curva de gradiente de borde.

Es una medida de la dispersión de la variación de densidad a través del borde, y está más íntimamente ligada al contraste de imagen que el poder de resolución.

Cuanto más neto sea el límite entre una zona oscura y otra clara, mayor es la acutancia y, por tanto, la nitidez de la imagen. Por el contrario, si el paso de una densidad a otra es difuso la definición será menor.

El Rodinal de Agfa y Acutol de Paterson, son dos reveladores de blanco y negro de gran acutancia. Proporcionan imágenes con una gran definición pero producen un grano más grueso, por lo que es conveniente emplearlos con películas de baja o media sensibilidad.

## 6.- OBJETIVOS PARA FOTOGRAFÍA, CINE Y VÍDEO: APLICACIONES Y CRITERIOS DE SELECCIÓN.

En función del ángulo visual, los objetivos para fotografía, cine y vídeo se clasifican en:

1. Ojo de pez (Fish eye).
2. Grandes Angulares.
3. Objetivos Normales.
4. Teleobjetivos.
5. Objetivos Zoom.
6. Objetivos Especiales.

Los objetivos ojo de pez tienen un ángulo visual extremadamente grande, de 180 o más grados. Normalmente transforman la escena en una imagen circular con un enorme distorsión. Su *distancia focal es muy corta* (en SLR de 35 mm. oscila entre 5 y 18 mm). Una variante de los "ojos de pez" es el llamado ojo de ave, que es un accesorio formado por un espejo semicircular sujeto en el extremo de un tubo de vidrio.

Los objetivos gran angular son objetivos con un ángulo de visión inferior a los "ojos de pez", pero superior a los normales. Se consideran grandes angulares los que proporcionan un ángulo visual comprendido entre 60 y 180 grados. Sus distancias focales para el formato 35 mm. varían entre 18 y 35 mm. Todos estos objetivos proyectan las imágenes sobre la película a un tamaño inferior al de los objetivos normales; pero además los objetos cercanos a la cámara aparecen muy grandes con relación a los objetos más alejados y con una fuerte distorsión en perspectiva, tanto mayor cuanto más se desplazan fuera del eje óptico. Están totalmente desaconsejados para el retrato de personas en primeros planos.

Los grandes angulares se utilizan generalmente:

- En reportajes, para poder abarcar el conjunto del sujeto cuando se trabaja en espacios reducidos: interior de habitaciones, coches, etc.
- Exagerar la perspectiva de los objetos. Esta deformación será tanto mayor cuanto más nos acerquemos.
- Conseguir una mayor profundidad de campo.
- En macrofotografía, se utilizan invertidos para conseguir la máxima ampliación cuando se trabaja con fuelles de extensión.

Los objetivos normales son los que cubren un ángulo visual comprendido entre los 43 y 50 grados, lo que se aproxima bastante al campo visual del ojo humano inmóvil. Es el que más se utiliza, y es la

base de cualquier equipo fotográfico. Es el que menos deforma la perspectiva. La distancia focal de estos objetivos es aproximadamente igual a la diagonal del formato que impresiona. En las cámaras réflex de 35 milímetros oscila entre los 46 y 55 mm. y en las de medio formato entre los 75 y 80 mm. Los objetivos normales tienen como característica fundamental su gran luminosidad (diafragmas muy abiertos), por lo que resultan imprescindibles para reportajes en condiciones problemáticas de luz.

Los teleobjetivos son objetivos con un ángulo visual menor de 31 grados. Su principal característica es el formar en la cámara imágenes grandes de objetos alejados. Sus distancias focales son siempre mayores que las de los objetivos normales. En cámaras de 35 mm. oscilan entre los 80 mm. y los 2.000 mm, siendo teles cortos entre los 80 y 135 mm., teleobjetivos normales entre los 135 y 240 mm., y superteleobjetivos cuando están entre los 240 y 500 mm.

Una regla para recordar el tipo de objetivo y su distancia focal en cualquier otro formato de negativo, consiste en considerar la medida del lado más corto del negativo como la distancia focal que tendría un gran angular; la diagonal como la focal del objetivo normal, y el doble del lado más largo como la distancia focal de un teleobjetivo corto.

Se conocen como "zoom" u objetivos de focal variable, aquellas ópticas en las que se puede variar a voluntad la distancia focal, y por tanto el ángulo visual. Esto se consigue por variación interna de la separación entre los grupos de lentes.

Un objetivo zoom hace el mismo papel que una colección de objetivos de distancias focales fijas, con la ventaja de su precio y de poderse utilizar en un sinnúmero de posiciones intermedias. Se puede modificar el tamaño de la imagen sin variar la distancia entre la cámara y el motivo. Por otra parte, la calidad de la imagen desciende ligeramente respecto a otro de focal fija equivalente, y sufren una considerable pérdida de luminosidad.

Existen una serie de objetivos que con unas características concretas, permiten ser usados en ciertas tareas con resultados excepcionales:

- **Objetivos flou:** poseen un nivel determinado de aberración esférica que produce cierto grado de difusión o efecto de halo, en algunos el grado de difusión puede variarse a voluntad. Se utilizan generalmente para retratos, desnudos y para conseguir cierto ambiente romántico y de ensoñación. Esto puede lograrse más barato utilizando un filtro "flou".

- **Objetivos macro:** diseñados específicamente para tomas de cerca de objetos pequeños (macrofotografía). Están minuciosamente corregidos para trabajar a cortas distancias. Algunos llegan a un tamaño de ampliación de 1:1, lo que quiere decir que el objeto tendrá en el negativo el mismo tamaño que al natural.
- **Objetivos marco verdaderos:** utilizados para macrofotografía de grandes aumentos (más de x8). Son objetivos de corta distancia focal y extraordinaria calidad, de forma y tamaño similar a los de los microscopios. Carecen de anillo de enfoque y su montura es a rosca debido a que se utilizan siempre acoplados a fuelles de extensión. Los objetivos medical, son una variante del objetivo macro, poseen un flash anular automático incorporado para evitar sombras. Su diseño óptico y calidad son excepcionales. Se utilizan mucho en ortodoncia, cirugía, etc.
- **Objetivos Shift o PC (Perspective Control):** diseñados con la particularidad de que puede desplazarse su eje óptico a voluntad. De esta manera puede controlarse la perspectiva de forma similar a una cámara de fuelle de estudio. Se utilizan mucho en Arquitectura, por ejemplo para corregir la fuga de líneas que se produce al fotografiar un edificio.
- **Objetivos UV:** para uso científico para fotografiar en la región del ultravioleta, por lo que sus vidrios son de cuarzo o fluoruro de cuarzo.
- **Objetivos submarinos:** diseñados para refractar ópticamente en el agua, son totalmente estancos. Los objetivos normales son aquí de 35 mm. y los teles no suelen pasar de 80 mm. Existen ya zooms y objetivos autofocus.
- **Objetivos anamórficos:** se utilizan muy poco en fotografía convencional, aunque bastante en cine. Estrechan las imágenes sobre la película para conseguir comprimir vistas panorámicas. Las relaciones se reconstruyen luego colocando un objetivo similar sobre el proyector. Se utilizan para películas en Cinemascope.

### 6.1.- Objetivos para fotografía digital.

En la fotografía digital existen diversos formatos de sensores que hasta ahora dificultan la existencia de un standard en el diseño de objetivos. Olympus y Kodak trabajan con el denominado sistema 4/3 que emplea un sensor con esa proporción entre alto y ancho y que tiene 13,4 x 18 mm.

Cada cámara debería tener objetivos cuyo círculo de cobertura sea igual a la diagonal del sensor pero, además, cuya resolución debería estar en función del tamaño del sensor. A medida que el sensor disminuye en tamaño, el poder de resolución del objetivo ha de aumentar porque el factor de ampliación, para un determinado tamaño de imagen, es mayor.

Un objetivo para fotografía digital debe reunir las siguientes características:

- El círculo de proyección de la imagen debe cubrir la superficie del Sensor.
- Debe proporcionar un poder resolutivo acorde al tamaño del sensor.
- La iluminación debe ser uniforme en todo el campo de cobertura y, debido a que el sensor tiene mayor profundidad que la película, los rayos deben incidir con muy poca inclinación.

La necesidad de que los rayos de luz incidan perpendicularmente sobre el sensor se debe a dos razones. Una es que cuando se incrementa el ángulo de incidencia, disminuye la luminosidad en los bordes. La otra, aún más importante, es que el sensor está compuesto por varias microlentes, que funcionan como centros de captura de la imagen que tienen determinada profundidad, y si los rayos superan cierta inclinación, no lograrán atravesarlos hasta el fondo, de modo que no se generará imagen.

Los objetivos para fotografía en 35 mm, sea cual sea su valor de distancia focal, han de cubrir con perfecta visión e iluminación un círculo de cobertura de 43 mm. de diámetro, que es el de la diagonal del negativo. En formato de 6x6, el valor del diámetro del círculo asciende a 75 mm.

El sensor de las cámaras digitales, en general, es de menor tamaño. De ahí se deduce el llamado factor de corrección o de recorte que se aplica a los objetivos diseñados para cámaras de 35 mm cuando se utilizan en cámaras digitales cuyo sensor es de menor tamaño.

El **factor de corrección** se obtiene **dividiendo la diagonal del negativo** de 24 x 36 mm, que es 43 mm –y para la cual están diseñados los objetivos de 35 mm–, por la **diagonal del sensor**. Por ejemplo, un sensor de 24x36 mm tiene un factor de corrección de 1.0x, puesto que es idéntico al fotograma de 35 mm. Un sensor de 13,5 x 18 mm (cuya diagonal es de 22 mm), tiene un factor de corrección de 2x.

Esto significa que un objetivo de cámara de 35 mm, cuya longitud focal está entorno a los 50 mm., montado en una cámara digital con un factor de corrección de 2x (para seguir con el mismo ejemplo), tendrá un ángulo de cobertura equivalente a un objetivo de 100 mm en una cámara de 35 mm.

Los objetivos para cámaras digitales deben estar mejor corregidos para la aberración cromática, que es la que se produce cuando rayos de diferente longitud de onda forman la imagen en diferentes planos de enfoque. Al ser mayor la profundidad de las microlentes que forman el sensor, el efecto de la aberración cromática se incrementa debido a que la imagen se proyecta en una superficie comparativamente más gruesa. Una superior corrección cromática permite obtener imágenes de mayor definición, que es lo que al final de cuentas se necesita.

## 6.2.- Objetivos para cámaras de vídeo.

Los objetivos para cámaras de TV han de reproducir sobre la pantalla del dispositivo captador, normalmente un CCD, con la mayor nitidez posible, las imágenes situadas frente a ella por medios exclusivamente ópticos, exactamente igual que los objetivos de las cámaras fotográficas.

Un objetivo queda determinado por tres parámetros:

- El formato, que condiciona el máximo tamaño de imagen que puede proporcionar el objetivo.
- La distancia focal, que está estrechamente relacionada con el ángulo de cobertura.
- La señal de sincronismo vertical; el objetivo ha de estar sincronizado con el sistema de captación de imagen que utilice la cámara donde está montado.

Los objetivos con una distancia focal similar al formato de la cámara a la que están acoplados abarcan un ángulo horizontal cercano al del ojo humano ( $30^\circ$ ) y se les conoce como normales. Las longitudes de la distancia focal son las que se especifican a continuación para cada tamaño de sensor CCD captador de imágenes:

- 16 mm. en 2/3".
- 12 mm. en 1/2".
- 8 mm. en 1/3".

Los objetivos para cámaras de televisión con distancia focal inferior a los anteriores (normales), que abarcarán un ángulo mayor, se conocen como gran angular. Y los de distancia focal superior, que amplían el tamaño del objeto, se conocen como teleobjetivos.

La luminosidad, expresada como número  $f$ , nos indica la máxima cantidad de luz que puede transmitir un objetivo, se expresa igual que para objetivos fotográficos, mediante el cociente entre la distancia focal y el diámetro de apertura máxima.

Los objetivos para cámaras de televisión se acoplan a la cámara mediante la montura, normalmente a rosca, de la que se utilizan dos tipos, la C y la CS; ésta última es habitual en los objetivos de formato pequeño (1/2" o 1/3"). A una cámara con montura CS se le puede acoplar un objetivo con rosca C, ajustándola o con un adaptador, pero no a la inversa.

## 7.- CONCLUSIONES.

La formación de la imagen en cine, vídeo y televisión está relacionada con el mecanismo de formación de imágenes en el ojo humano, que a su vez es estudiado día a día a través de la parte de la física dedicada a la óptica.

Los objetivos intercambiables distinguen a los sistemas modulares donde, a partir del cuerpo de cámara, se dispone de una serie de lentes de diferentes características que le otorgan una gran versatilidad.

Debido a que la variedad de objetivos es muy amplia, el fotógrafo debe saber seleccionar aquellos que mejor se adecuan a sus fines o al tipo de fotografía que más le interesa.

Los objetivos pueden estudiarse desde un punto de vista muy particular, solo será necesario añadir ciertos matices a cada objetivo, realizar los cálculos ópticos oportunos y establecer las aplicaciones prácticas para las que son más adecuados cada modelo concreto.

La calidad de la imagen está muy condicionada por la calidad óptica del objetivo y por su correcta utilización, lo cual implica el conocimiento de determinados criterios en el momento de la selección.

## 8.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DOCUMENTALES.

- LANGFORD, MICHAEL  
Fotografía Básica.  
Omega. Barcelona. 1.992.
- LANGFORD, MICHAEL  
Fotografía Básica. Iniciación a la Fotografía Profesional.  
Ed. Omega. Barcelona. 1.990.
- JACOBSON, R. E., RAY, S. F., ATTRIDGE, G. F., AXFORD, N. R.  
Manual de Fotografía.  
Ediciones Omega. Barcelona. 2002.



- LOVELL, R. P., ZWAHLEN, F. C., y FOLTS. J. A.  
Manual completo de Fotografía.  
Celeste. Madrid. 1998.
- FREEMAN, MICHAEL.  
El libro de toda la Fotografía.  
Ediciones del Drac. Barcelona, 1991.
- COX, ARTHUR.  
Óptica fotográfica.  
Ediciones Omega. Barcelona. 1979.
- <http://www.fotomundo.com>
- <http://www.formarse.com.ar>
- <http://www.kodak.com>

Tema Muestra

Email: [información@preparadoresdeoposiciones.com](mailto:información@preparadoresdeoposiciones.com) • Web: <http://www.preparadoresdeoposiciones.com>

# NOTAS

REV.: 02/08