

tema 1 - Magnitudes y unidades fotométricas

1.1 Atributos, magnitudes y unidades

1.1.1 Concepto de atributo, magnitud y unidad

Atributo es una propiedad a la que damos nombre.

Magnitud es un atributo que definimos exactamente.

Unidad es la unidad de medida de la magnitud.

Por ejemplo: el atributo *grande* puede referirse a la altura, el volumen, el peso, la envergadura.

La altura es la magnitud de grande definida como la distancia vertical entre los extremos de la cosa.

La envergadura es la magnitud de grande definida como la distancia horizontal.

Al altura podemos medirla en metros, en piés, en codos egipcios, etc.

1.1.2 Magnitudes fundamentales y derivadas

La ciencia trabaja de la siguiente manera: se elige una magnitud principal que sea fácil de medir y se define sin ambigüedades. A partir de esa magnitud se definen las demás.

Por ejemplo una magnitud fundamental es la distancia y otra el tiempo. La velocidad se define como la distancia dividida entre el tiempo.

1.1.3 Magnitudes fundamentales de la física

Las magnitudes fundamentales de la física son:

- **Distancia.** Unidad el metro.
- **Tiempo.** Unidad el segundo.
- **Masa.** Unidad el kilogramo.
- **Cantidad de materia.** El mol.
- **Energía.** Unidad el julio.
- **Temperatura.** Unidad el kelvin.
- **Intensidad eléctrica.** Unidad el amperio (unidad fundamental de la electricidad).
- **Intensidad luminosa.** Unidad la candela (unidad fundamental de la fotometría).

1.2 Magnitudes y unidades fotométricas

1.2.1 Cantidad de energía luminosa emitida por la lámpara. El flujo

La energía luminosa emitida por una lámpara se llama *flujo* y se mide el *lumen*.

El flujo es la potencia contenida en cada longitud de onda pero multiplicada por un peso que depende de la capacidad del ojo para ver esa longitud de onda.

El flujo es lo energía de la luz pero teniendo en cuenta la capacidad del ojo para verla. Por ejemplo, el ojo es más sensible a los verdes que a los azules, así que si la luz azul y la verde tuvieran la misma energía (en la luz, no en la alimentación eléctrica) no veríamos los dos colores iguales sino mucho más verde que azul. Por eso las hojas de los árboles aparecen verdes y oscura.

1.2.2 Cantidad de energía luminosa emitida por el foco en una dirección. La intensidad

La lámpara emite luz en todas las direcciones.

Si ponemos un espejo detrás de la lámpara reflejará el flujo que antes iba hacia atrás y lo lanzará hacia delante, con el resto del flujo.

Así la cantidad de luz que emite (flujo, lumen) es la misma pero algo ha cambiado.

Este algo es la *intensidad*, que medimos en *candelas*.

La intensidad es la energía luminosa lanzada en una dirección.

Para medir la dirección imaginamos un cono con vértice en la lámpara. La intensidad es el flujo que va dentro del cono dividido entre el ángulo (sólido) del cono.

La intensidad es la magnitud fundamental en el sistema fotométrico. De ella se derivan todas las demás magnitudes.

$$j = \frac{\Phi}{\omega}$$

Donde j es la intensidad en candelas. Phi es el flujo en lúmenes y omega el ángulo sólido en estereorradianes.

1.2.3 Cantidad de energía luminosa que llega a una figura. La iluminación

La iluminación es la energía luminosa que llega a la escena.

1.2.3.1 Iluminancia

Hay varias magnitudes con las que podemos hablar de la iluminación pero la principal es la *iluminancia*. De toda la luz que llega a la escena nos interesa la cantidad que atraviesa perpendicularmente una superficie de medida. Esta es la definición de iluminancia.

Por ejemplo, si la luz cae sobre una mesa con cierto ángulo, solo nos interesa el flujo (lumen) que cae perpendicularmente. Debemos pensar en una composición similar a la vectorial, donde una línea inclinada es la suma de una horizontal y otra vertical. Sin embargo esto no significa que la iluminancia sea una magnitud vectorial, es escalar.

La iluminancia es el flujo que atraviesa perpendicularmente un metro cuadrado de mesa.

$$E = \frac{\Phi}{S} \cos \alpha$$

Donde E es la iluminancia en lux. Phi es el flujo en lúmenes y S es la superficie sobre la que cae en metros cuadrados. Alfa es el ángulo con que cae la luz sobre el plano que ilumina. Este ángulo es sobre la normal al plano, no sobre la superficie.

1.2.3.2 Definición a través de la intensidad

Si sustituimos el flujo por su definición:

$$j = \frac{\Phi}{\omega}$$

$$\Phi = j \cdot \omega$$

$$E = \frac{j \cdot \omega}{S} \cos \alpha$$

$$\omega = \frac{S}{d^2} \quad (\text{Omega ángulo sólido, S superficie de la base del cono, d distancia del vértice a la base})$$

$$E = \frac{j}{S} \frac{S}{d^2} \cos \alpha$$

$$E = \frac{J}{d^2} \cos \alpha$$

La iluminancia a una distancia dada para una fuente de luz que pueda caracterizarse por intensidad es la intensidad dividida por el cuadrado de la distancia.

A esto se le llama *ley de inversa del cuadrado de las distancias*.

1.2.3.3 Sistema imperial

La definición de iluminancia es flujo dividido por la superficie sobre la que cae. En el sistema internacional la superficie se mide en metros cuadrados y la iluminancia en lux.

Pero en el sistema imperial las distancia se miden en piés y las superficies en piés cuadrados. Por tanto en este sistema se emplea otra unidad para la misma magnitud. Se llama *piecandela*.

El nombre de la unidad en inglés es *footcandle* y lamentablemente en muchos artículos en español se escribe footcandle (fc) en vez de piecandela (pc).

Una piecandela son 10,76 lux. Por regla general usamos 10.

$$1pc = 10,76lx$$

1.2.3.4 Otras magnitudes de la iluminación

En fotografía suele medirse la iluminación con un fotómetro dotado de una esfera difusora denominada *calota*. Esta esfera mide la luz que cae desde todas las direcciones y no solo la perpendicular. Por tanto el fotómetro con la calota no mide la iluminancia, pero si una iluminación que no tiene nombre.

Para medir la iluminancia el fotómetro debe tener un difuso plano. En algunos aparatos este difusor se imita metiendo la calota dentro del cuerpo.

El fotómetro con el difusor plano mide iluminancia, que es la iluminación que viene justo de enfrente suya. El fotómetro con la calota mide la iluminación que viene desde todas las direcciones frente a él, y no justo de enfrente.

1.2.4 Cantidad de energía luminosa que sale de una figura. El brillo

La luz que llega a un objeto puede atravesarlo cuando es transparente o translúcido o reflejarse.

Para hablar de la luz que sale del objeto tenemos el atributo *brillo*.

1.2.4.1 La luminancia

El atributo brillo tiene varias magnitudes, la principal de las cuales es la *luminancia*.

La luminancia es la intensidad que sale por metro cuadrado de superficie vista por la cámara.

$$L = \frac{J}{S} \cos \alpha$$

Donde L es la luminancia, j la intensidad luminosa en candelas y S la superficie en metros cuadrados. El ángulo alfa es el que guarda la línea de la visión de la cámara con la normal a la superficie que miramos. La máxima luminancia se consigue, por tanto, cuando miramos la superficie perpendicularmente. Conforme nos inclinamos la superficie se hace más pequeña.

Si al inclinar la mirada sobre la mesa vemos que mantiene la sensación de brillo, decimos que la superficie tiene *reflexión difusa*.

Recordemos que hay dos reflexiones: la difusa y la especular (o directa). En la especular el rayo de luz que cae sobre la superficie se refleja con el mismo ángulo (rebota). En la difusa el rayo de luz que cae se rompe y se esparce en todas las direcciones (salpica). Son fenómenos diferentes y no deberíamos confundirlos. No son dos extremos de la misma idea (reflexión) sino dos tipos de reflexiones distintas.

En un reflector difuso siempre vemos el mismo brillo miremos desde donde lo miremos

Al inclinar la mirada, la superficie vista es menor, por tanto la intensidad debe ser mayor. Un objeto que tenga reflexión difusa no tiene la misma intensidad en todas las direcciones, sino que la intensidad varía para adaptarse al cambio de superficie de manera que se mantenga la luminancia igual.

1.2.4.2 Factor de reflexión

El factor de reflexión nos da idea de lo claro u oscuro que es un objeto.

El factor de reflexión es otra magnitud del brillo.

El factor de reflexión es un número porcentual que nos dice cual es la luminancia del objeto respecto de la luminancia de un patrón de referencia.

Existe la falsa idea de que el factor de reflexión es la luz que sale dividida entre la luz que entra. Pero no es correcta.

Para determinar el factor de reflexión: colocamos una superficie de referencia, por ejemplo una tabla de sulfato de bario, y la iluminamos. Medimos su luminancia. Ahora sustituimos la tabla de referencia por otra del material que queremos caracterizar. Medimos su luminancia. Dividimos la luminancia del objeto entre la luminancia de la referencia.

Definida de esta manera la luminancia puede ser mayor del 100%.

La luminancia no es el flujo dividido entre la superficie, sino la intensidad dividida entre la superficie

1.2.5 Relación entre iluminancia y luminancia

Cuando el reflector es difuso podemos hacer la siguiente relación entre la luminancia y la iluminancia:

$$L = \frac{\rho \cdot E}{\pi}$$

Donde rho es el factor de reflexión, E es la iluminancia en lux, pi es pi (3,141599...) y L es la luminancia en candelas divididas por metro cuadrado.

Esto significa que conociendo el factor de reflexión y la iluminancia podemos saber las candelas metro cuadrado con que brilla un objeto.

1.3 Magnitudes y unidades fotográficas

1.3.1 Exposición

La exposición es la cantidad de energía que cae sobre el material sensible.

Se define como el producto de la iluminancia que cae multiplicada por el tiempo que lo hace.

Por tanto sus unidades son el lux por segundo.

La cámara fotográfica tiene dos controles, uno para controlar la cantidad de luz, que se llama *diafragma* y otro para controlar el tiempo durante el que cae la luz, que se llama *obturador*.

1.3.1.1 La reciprocidad

La exposición es el producto de la iluminancia en lux por el tiempo en segundos. 1000 lux durante 1 segundo produce una exposición, una acción en el material sensible. La exposición es el producto de 1000 x 1 y se mide en lux segundo: 1000luxs.

Si bajamos la iluminancia a la mitad, 500lux y subimos el tiempo al doble, el resultado será el mismo: 500 lux x 2 segundos son 1000luxs.

Si multiplicamos la iluminación por 10 tenemos 10.000 lux pero si reducimos el tiempo a la décima parte, 1/10 el resultado de la exposición será: $10.000 / 10 = 1000\text{lx}$.

La exposición se mantiene.

A esto lo llamamos *reciprocidad*. Si aumentamos uno de los factores en una cantidad y reducimos el otro en la misma proporción, el resultado no cambia.

1.3.2 Potencia de las lentes

La potencia de la lente es la inversa de la longitud focal. Se mide en dioptrías.

La longitud focal es la distancia a la que un rayo de luz paralelo al eje de visión de la lente, que resulta desviado por ella, corta al eje.

La ley de gauss de las lentes dice:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

Donde F es la longitud focal en metros, d es la distancia de la figura que enfocamos al objetivo y d' la distancia del objetivo a la imagen enfocada de la figura.

1.3.3 Luminosidad, el diafragma

La luminosidad del objetivo es una medida de la cantidad de luz que deja pasar.

La magnitud más habitual, pero no la única, es el número f. También le decimos *apertura*.

El número f, o también *diafragma* se define como la longitud focal del objetivo dividida entre el diámetro del haz de luz en el centro óptico del objetivo.

$$f = \frac{F}{\theta}$$

Donde F es la longitud focal del objetivo y theta el diámetro del cono de luz en el centro óptico.

La luminosidad f es inversamente proporcional a la superficie de la apertura del cono de luz. Por tanto si la superficie se hace el doble, entra el doble de luz. Para que la superficie de un círculo se haga el doble su diámetro tiene que crecer un factor raíz cuadrada de dos. Por tanto conocido un diafragma, el que deja pasar el doble de luz es 1,4 veces más grande y el que deja pasar la mitad de luz es 1,4 veces más pequeño (1,41 es la raíz cuadrada de dos).

La serie de diafragmas principal es la siguiente:

0,5-0,7-1-1,4-2-2,8-4-5,6-8-11-16-22-32-45-64-90

Esta serie hay que aprenderla obligatoriamente.

La forma de generarla es muy simple, solo hay que conocer dos valores, por ejemplo 1 y 1,4 (uno y la raíz cuadrada de dos) y saber que cada nuevo número de la serie es el doble del que hace dos veces anterior. Es decir, después del 1,4 viene el doble de 1 que es 2. Después del 2 viene el doble de 1,4 que es 2,8. Después de 2,8 viene el doble de 2 que es 4.

1.3.4 El paso

Entre cada dos números de la lista principal de diafragma hay el doble o la mitad de exposición. A esta cantidad doble o mitad la llamamos *paso*. Un diafragma 2 deja pasar el doble de luz que el 2,8 y la mitad que el 1,4.

Entre cada dos números de la serie de diafragmas podemos insertar otros dos, que dividen cada paso en tres partes. Son los llamados *tercios de paso*.

El tercio de paso es el mayor error que se permite a casi todas las variables operativas de un proceso fotografico. Es decir, es el mayor error que se permite al diafragma mecánico de la cámara, a la velocidad, a la sensibilidad y a las mediciones de los fotómetros. Cuando una cámara dice que tiene un diafragma 8 el diafragma real puede que sea 1/6 de paso menos o 1/6 de paso mayor. Por eso las cámaras indican los diafragmas y las velocidades en saltos de 1/3 de paso.

Un tercio de paso corresponde a una variación del 25% de iluminancia o de exposición. Es la fluctuación normal de la luz solar en un momento dado. Es decir, si estamos en exterior con una luz día de 10.000lux en realidad tenemos una variación de entre 8000 a 12.500 lux. Por eso no tiene sentido mantener errores en los mecanismos de la cámara menores que la variación natural de la luz del día en un momento cualquiera.

1.3.5 Tiempo y velocidad

El tiempo que la luz actúa sobre el material sensible se controla con el *obturador* que consiste en una puerta conectada a un reloj que la abre durante un cierto intervalo.

Los tiempo estandarizados se escriben como fracciones y la serie principal está separada por pasos. Es decir, entre dos tiempos estandar de la serie principal hay una duración doble o mitad. La serie estándar se indica por fracciones de segundo, y es esta:

1 - 1/2 - 1/4 - 1/8 - 1/15 - 1/30 - 1/60 - 1/125 - 1/250 - 1/500 - 1/1000 - 1/2000 - 1/4000 - 1/8000

1 significa 1 segundo.

1/2 significa medio segundo.

Nótese que hay algunos valores que no son la mitad exacta pero que se redondean por conveniencia ya que el error de tomarlo por el valor mitad correcto es mínimo y no es apreciable.

La velocidad de obturación es la inversa del tiempo y por tanto es el denominador de las fracciones. Así al tiempo 1/30 le corresponde la velocidad 30, para el tiempo 1/125 le corresponde la velocidad 125, etc.

Entre cada dos tiempo de la serie principal podemos intercalar otros dos que dividen el paso en tercios. Los saltos son por tanto de 25% del valor anterior.

1.3.6 Sensibilidad

La sensibilidad es la capacidad del material sensible para registrar la luz.

Físicamente la sensibilidad se define como el inverso de la acción que proporciona una reacción prevista. Cuanto mayor sea el número que indica la sensibilidad, menos luz necesitamos para hacer la foto.

La sensibilidad que empleamos actualmente es la recomendada por el ISO que se define a partir de las normas ANSI norteamericanas (anteriormente llamadas ASA) y las DIN alemanas.

1.3.6.1 La sensibilidad ASA

La norma ANSI está basada en la ASA. Aunque las normas norteamericanas cambiaron de nombre a principios de los setenta de ASA a ANSI los fotógrafos siguieron llamándolas por el nombre antiguo, ASA.

La sensibilidad ASA se mide a partir de una respuesta predeterminada del material sensible, en la curva característica de éste.

Las sensibilidad ASA se dobla cuando se dobla el número. La serie principal, por pasos, es:

12 - 25 - 50 - 100 - 200 - 400 - 800 - 1600 - 3200

Y se definen valores intermedios en tercios de paso que son un 25% mayores que los anteriores. La serie completa sería:

12 - 15 - 20 - 25 - 32 - 40 - 50 - 64 - 80 - 100 - 125 - 160 - 200 - 250 - 320 - 400 - 500 - 640 - 800 - 1000 - 1200 ...

Para aprenderse (y es interesante para poder calcular de cabeza, sin calculadora) solo hay que recordar tres números: 80 - 100 - 125. El resto sale doblando o haciendo al mitad a estos.

1.3.6.2 La escala DIN

La escala normalizada por la norma DIN alemana establece saltos de una unidad para cada tercio. De manera que una diferencia de un paso son tres números DIN. El número de la sensibilidad se mide sobre la curva característica de la película en el punto en que la densidad es 0,1 valores de densidad mayor que la mínima. Esta densidad se multiplica por 100 y ese es el valor DIN.

Así la sensibilidad considerada «normal» de DIN 21 quiere decir que la curva característica de la película tiene una densidad 0,21 en el punto que determina las sensibilidad.

La relación que hay entre la escala DIN y ASA hay que hacerla teniendo en cuenta que DIN 15 es la misma sensibilidad que ASA 15. La manera más normal de recordarla es sabiendo que DIN 21 es la misma sensibilidad que ASA 100.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|----|----|-----------|----|----|------------|-----|-----|------------|-----|-----|------------|-----|-----|------------|-----|------|-------------|------------|
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | DIN |
| 15 | 32 | 40 | 50 | 64 | 80 | 100 | 125 | 169 | 200 | 250 | 320 | 400 | 500 | 640 | 800 | 100 | 1200 | 1600 | ASA |

1.3.6.3 La sensibilidad ISO

ISO es el nombre de un organismo internacional de normalización. Puede recomendar pero no legislar. A finales de los 70 el ISO decidió normalizar las sensibilidades del material fotográfico empleando los sistemas noreamericano (ANSI9 y alemán (DIN) en detrimento de otros sistemas existentes (el GOST ruso, el APEX y otros más). La sensibilidad ISO se escribe con los números ASA y DIN separados por una barra. Por ejemplo, la sensibilidad ASA 100 en ISO se escribe así: ISO 100/21.

1.3.7 Contraste

El contraste es la diferencia entre dos luces. Puede haber un contraste de luces (la iluminancia que produce un foco y la que produce otro), de tonos (la luz que reflejan las partes claras de la figura y las oscuras) o de exposición (la exposición que recibe una parte del sensor y la que recibe otro).

Además hay los siguientes tipos de contraste:

1. De iluminación. El que producen los focos sin tener en cuenta los objetos. Solo las iluminancias.
2. De escena. El que hay entre el tono más claro y el más oscuro visto desde la cámara.
3. De medio. La máxima diferencia que admite el material sensible.

A la diferencia entre el contraste de medio (el que admite el material sensible) y el de escena (el que vemos desde la cámara) lo llamamos *latitud*.

Hay dos maneras de comparar las magnitudes fotográficas que son la relación de luces o *proporción* y los pasos.

El paso ya hemos dicho que es una diferencia entre dos valores que supone la mitad o el doble de exposición.

La proporción la diferencia que hay entre dos exposiciones pero comparadas como *cuantas veces es mayor la una que la otra*.

Por ejemplo, un paso es una relación de exposición 2:1. El doble, o la mitad, una 1:2.

Matemáticamente la relación que hay entre la proporción y el paso es:

$$m = 2^n$$

Donde m es la relación de luces entre dos valores fotográficos y n es la diferencia en pasos entre esos dos valores fotográficos.

De igual manera, la relación recíproca es:

$$n = \log_2 m$$

Donde \log_2 es el logaritmo en base 2. Para ponerlo en logaritmos en base 10, que es lo que tenemos en cualquier calculadora podemos escribir:

$$n = 3,32 \log m$$

Podemos hacer cálculos de proporción a pasos recordando la escala ASA de sensibilidades. Para ello solo hay que dividir dos sensibilidades y ver cual es la diferencia en la posición que ocupan dentro de la lista completa recordando que cada salto de posición es un tercio de paso.

Por ejemplo, si queremos saber cual es la relación de luces que hay en 2 pasos y un tercio solo tenemos que coger la sensibilidad de 100 y contar siete posiciones hacia arriba. Siete porque son dos pasos, que son seis tercios y uno más que es el extra que queremos. Contando tenemos: 100 - 125 - 160 - 200 - 250 - 320 - 400 - 500.

La relación de luces correspondiente a $2 + \frac{1}{3}$ pasos es 500:100 o lo que es lo mismo 5:1.

1.3.8 El valor de exposición

El valor de exposición permite aunar en un único número el tiempo de obturación y el diafragma. La definición es:

$$ev = \log_2 \frac{f^2}{t}$$

La idea es el principio de reciprocidad: 1000 lux cayendo durante 1 segundo producen el mismo efecto que 500 lux durante 2 segundos o 2000 lux durante 0,5 segundos.

Un número EV corresponde a todas las combinaciones de diafragma y tiempo que producen la misma exposición.

Para no andarnos con logaritmos solo tenemos que recordar que el valor de exposición EV 0 corresponde a 1 segundo de tiempo y un diafragma $f:1$.

Por ejemplo ¿A qué valor de exposición corresponde un diafragma $f:11$ y $t \frac{1}{125}$?

Para calcularlo vamos a partir de que EV 0 es $T 1$ y $f 1$.

Vamos a ir hasta $f:11$ paso a paso:

de $f:1$ hasta $f:11$ hay 1,4 - 2 - 2,8 - 4 - 5,6 - 8 - 11. 7 pasos. Luego al valor de exposición 0 le sumamos 7. (si EV 0 es $f:1$ entonces EV 1 es $f:1,4$ - EV 2 es $f:2$ - EV 3 es $f:2,8$ - EV 4 es $f:4$ - EV 5 es $f:5,6$ - EV 6 es $f:8$ y EV 7 es $f:11$).

Pero esto es con el tiempo de 1 segundo. Es decir, $f:11 t:1$ es EV 7. Ahora tenemos que subir por la escala de tiempos de igual manera. Estamos en $f:11 t:1$ con EV 7, luego $t \frac{1}{2}$ es EV 8, $t \frac{1}{4}$ es EV 9, $t \frac{1}{8}$ es EV 10, $t \frac{1}{15}$ es EV 11, $t \frac{1}{30}$ es EV 12, $t \frac{1}{60}$ es EV 13, $t \frac{1}{125}$ es EV 14.

Luego $f:11, t \frac{1}{125}$ es un valor de exposición EV 14.

Ahora: cualquier otra combinación de tiempo y diafragma que proporcione el valor EV 14 produce el mismo efecto sobre el material sensible.

En realidad el valor de exposición define cuatro listas de números que van pareadas dos a dos: tiempo de exposición - diafragma y sensibilidad - iluminancia, pero por razones históricas hemos dejado de emplear la segunda escala, que estaba definida en el sistema de sensibilidad APEX, hoy en desuso, y que en su momento permitió realizar mecanismos que al cambiar el diafragma modificaban automáticamente el tiempo de obturación y viceversa.

1.3.9 Relación entre las unidades fotométricas y las fotográficas

La iluminancia en lux a partir del diafragma y el tiempo de obturación es:

$$E = \frac{269 \cdot f^2}{s \cdot t}$$

Donde f es el diafragma, s es la sensibilidad ASA y t el tiempo de obturación. E es la iluminancia en lux.

También:

$$E = \frac{269}{s} \cdot 2^{ev}$$

Donde ev es el valor de exposición.

La luminancia por su parte puede calcularse cambiando el 269 por 15,41.

$$L = \frac{15,41 \cdot f^2}{s \cdot t}$$

$$L = \frac{15,41}{s} \cdot 2^{ev}$$

1.3.10 Distancia mínima de enfoque

La distancia mínima a la que un objetivo puede enfocar es el doble de su longitud focal. Esta distancia se cuenta desde la posición del sensor, la marca de diámetro que hay en la cámara.

La ley que gobierna las distancias y la longitud focal en un objeto es la de Gauss que dice:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d'}$$

Donde F es la longitud focal de

l objetivo, d es la distancia del objetivo a la figura que enfocamos y d' la distancia del objetivo a la donde se produce la imagen enfocada de la figura.

Esto quiere decir que cuando más cerca está el objeto del objetivo más lejos está la imagen y viceversa.

Cuando más lejos esté la figura del objetivo más cerca estará de éste la imagen de la figura.

Por tanto lo más cerca que podemos colocar la figura del objetivo será cuando la distancia del objetivo a la imagen sea infinita. Es decir:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{\infty}$$

De manera que:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d}$$

Y por tanto F = d. La distancia más corta a la que podemos colocar una figura para enfocarla es a la longitud focal del objetivo.

1.3.11 Ángulo de visión de un objetivo

Suponiendo que el objetivo es como un agujero abierto en un lateral de la caja que es la cámara y que proyecta dentro de ella la imagen de la escena, tenemos que el ángulo que abarca el agujero dentro de la caja es el mismo que el que abarca por fuera, por tanto vale:

$$\alpha = 2 \operatorname{artan} \frac{L}{2 \cdot F}$$

Donde alfa es el ángulo de visión. L es el largo de la imagen y F la longitud focal del objetivo.

El largo de la imagen normalmente se da como la diagonal del sensor. Pero a efectos prácticos nos interesa considerar siempre el ancho o el alto. Por tanto un objetivo tiene siempre tres ángulos de visión: el horizontal, el vertical y el diagonal del fotograma.

1.3.12 La magnificación

La magnificación o escala es cuantas veces es mayor la imagen del objeto que el objeto.

$$m = \frac{\text{imagen}}{\text{objeto}}$$

División del tamaño de la imagen entre el del objeto, no al contrario. Es un factor de escala.

Como el ángulo de visión fuera de la cámara es el mismo que dentro de la cámara la semejanza de triángulos hace que si dividimos el ancho de la imagen por la longitud focal del objetivo tengamos el mismo valor que si dividiéramos el ancho de la escena visto por la distancia de la escena a la cámara, por tanto:

$$\frac{\text{ancho escena}}{\text{distancia a la escena}} = \frac{\text{ancho del fotograma}}{\text{longitud focal del objetivo}}$$

Y de ahí:

$$\frac{\text{longitud focal del objetivo}}{\text{distancia a la escena}} = \frac{\text{ancho del fotograma}}{\text{ancho escena}}$$

Y como:

$$\text{escala} = \frac{\text{ancho del fotograma}}{\text{ancho escena}}$$

Tenemos entonces que:

$$\text{escala} = \frac{\text{longitud focal del objetivo}}{\text{distancia a la escena}}$$

1.3.13 Profundidad de campo

Cuando enfocamos a una figura hay un espacio enfocado por delante y por detrás de ella. A este espacio se le llama *profundidad de campo*.

Experimentalmente se puede encontrar que la profundidad de campo vale:

$$pdc = \frac{2 \cdot c \cdot f (m + 1)}{m^2}$$

Donde pdc es la profundidad de campo, c es el diámetro del círculo de confusión, f la apertura de diafragma, F la longitud focal del objetivo y m la escala de reproducción.

El diámetro del círculo de confusión es la mínima distancia entre dos puntos en la escena para que podamos verlos como diferentes y no como uno solo. Depende del formato del sensor y normalmente usamos 0,03 milímetros para paso universal («fullframe», FX) y 0,015 para APSC.

La escala de reproducción o *magnificación* es el tamaño de la imagen de la figura fotografiada entre el tamaño de la figura. Es el factor de escala con el que se reproduce la figura en el sensor.

Como puede apreciarse en la ecuación la profundidad de campo depende del diafragma empleado y del factor de escala.

Esto significa que un primer plano realizado con un objetivo de 300mm a f:2,8 tiene la misma profundidad de campo que un primer plano realizado con un objetivo de 28mm a f:2,8. No siendo cierta la leyenda popular que dice que la profundidad de campo depende de la longitud focal del objetivo.

Es decir: un objetivo largo no tiene menos profundidad de campo que uno corto. Todo depende del plano que estemos haciendo.

Esta es la manera correcta de pensar para no llevarnos chascos a la hora de realizar un trabajo en el que tengamos limitada la profundidad de campo.