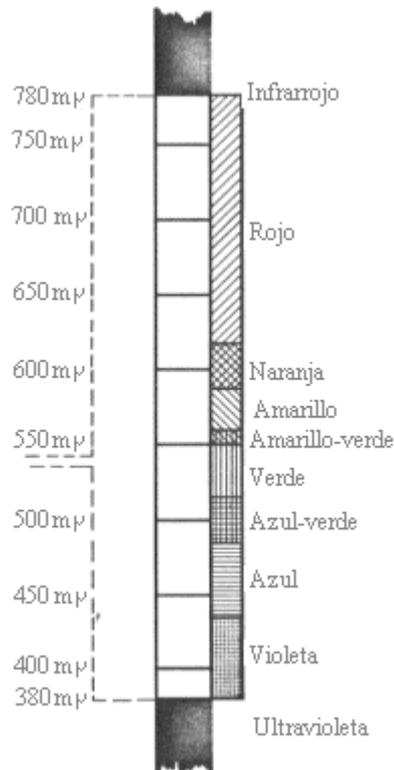


## LUMINOTECNIA

### Conceptos Básicos

Luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación.

Iniciemos su estudio examinando las variaciones electromagnéticas simples, que pueden clasificarse bien por su forma de generarse, por sus manifestaciones o efectos, o simplemente por su longitud de onda.



Las radiaciones visibles se caracterizan por ser capaces de estimular el sentido de la vista y estar comprendidas dentro de una franja de longitud de onda muy estrecha, comprendida aproximadamente entre 380 y 780  $\mu$ m. (1 milimicra =  $10^{-9}$  m.). Esta franja de radiaciones visibles, está limitada de un lado por las radiaciones ultravioleta y de otro, por las radiaciones infrarrojas, que naturalmente no son perceptibles por el ojo humano.

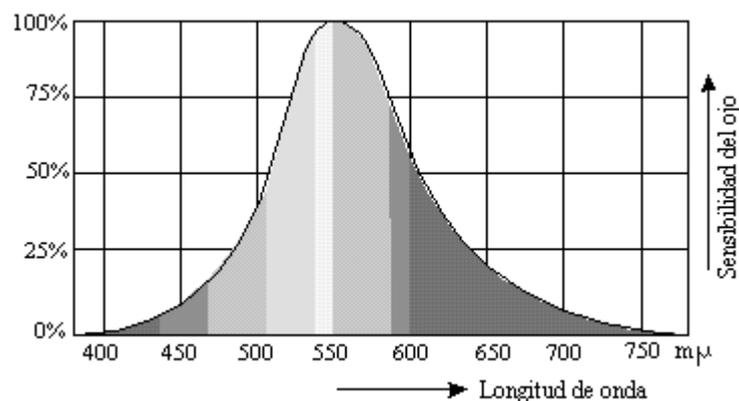
Una de las características más importantes de las radiaciones visibles, es el color. Estas radiaciones, además de suministrar una impresión luminosa, proporcionan una sensación del color de los objetos que nos rodean.

Dentro del espectro visible, pueden clasificarse una serie de franjas, cada una de las cuales se caracteriza por producir una impresión distinta, característica peculiar de cada color.

Puesto que el receptor de estas sensaciones de color es el ojo humano, resultaba interesante conocer su sensibilidad para cada una de estas

radiaciones. Para ello se dispuso de fuentes de luz capaces de generar cantidades iguales de energía de todas las longitudes de onda visibles, y se realizó el ensayo comparativo de la sensación luminosa producida a un gran número de personas.

El ensayo dio como resultado que no todas las longitudes de onda producían la misma impresión luminosa y que la radiación que más impresión causaba era la correspondiente a una longitud de onda de 550 m $\mu$ , propia del color amarillo-verde. Esta impresión iba decreciendo a derecha e izquierda del valor máximo característico, siendo para los colores rojo y violeta los que daban una menor impresión.



De estos resultados se obtuvo la "Curva Internacional de Sensibilidad del ojo humano", tal y como se representa en la figura.

Otro dato digno de tener presente en luminotecnia es el conocido con el nombre de "Temperatura del Color". Considerado el cuerpo negro como radiante teóricamente perfecto, este va cambiando de color a medida que vamos aumentando su temperatura, adquiriendo al principio el tono de un rojo sin brillo, para luego alcanzar el rojo claro, el naranja, el amarillo, el blanco, el blanco azulado, y finalmente el azul.

De esta idea nace la "Temperatura del Color", y se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color del cuerpo negro a una determinada temperatura. Así, por ejemplo, el color de la llama de una vela es similar al de un cuerpo negro calentado a 1.800  $^{\circ}$ K, por lo que se dice que la temperatura de color de la llama de una vela es de 1.800  $^{\circ}$ K.

La temperatura de color solamente puede ser aplicada a aquellas fuentes de luz que tengan una semejanza con el color del cuerpo negro, como por ejemplo la luz del día, la luz de las lámparas incandescentes, la luz de las lámparas fluorescentes, etc.. El color de las lámparas de vapor de sodio, no coincide con el color del cuerpo negro a ninguna temperatura, por lo que ni pueden ser comparadas con él, ni se les puede asignar ninguna temperatura de color.

Seguidamente damos algunas temperaturas de color, con el fin de que nos familiaricemos con ellas:

Cielo azul 20.000 °K	Cielo nublado 7.000 °K
Luz solar directa 5.000 °K	Luz de velas 1.800 °K
Lámparas fluorescentes	Lámparas incandescentes
Blanco cálido 3.000 °K	Normales 2.600 °K
Luz día 6.500 °K	Halógenas 3.100 °K

Existe una cierta relación entre la temperatura de color y el nivel de iluminación, de tal forma que a mayor temperatura de color, la iluminación ha de ser también mayor para conseguir una sensación agradable.

Partiendo de la base de que para poder hablar de iluminación es preciso contar con la existencia de una fuente productora de luz y de un objeto a iluminar, las magnitudes que deben conocerse y definirse son las siguientes:

MAGNITUD	UNIDAD	SIMBOLO
Flujo luminoso	Lumen	□
Nivel de iluminación Iluminancia	Lumen / m <sup>2</sup> = Lux	E
Intensidad luminosa	Candela	I
Luminancia	Candela / m <sup>2</sup>	L

El flujo luminoso y la intensidad luminosa son magnitudes características de las fuentes de luz, indicando la primera la cantidad de luz emitida por dicha fuente en 1 segundo en todas direcciones, mientras que la segunda indica la cantidad de luz emitida en 1 segundo y en una determinada dirección.

Seguidamente pasemos a definir más detalladamente cada una de estas magnitudes.

#### A) Flujo luminoso

Es la magnitud que mide la potencia o caudal de energía de la radiación luminosa y se puede definir de la siguiente manera:

Flujo luminoso es la cantidad total de luz radiada o emitida por una fuente durante un segundo.

$$\phi = \frac{Q}{t}$$

f = Flujo luminoso en Lúmenes.

Q = Cantidad de luz emitida en Lúmenes x seg.

t = Tiempo en segundos.

El Lumen como unidad de potencia corresponde a 1/680 W emitidos a la longitud de onda de 550 m $\mu$  .

Ejemplos de flujos luminosos:

Lámpara de incandescencia de 60 W.	730 Lm.
Lámpara fluorescente de 65 W. "blanca"	5.100 Lm.
Lámpara halógena de 1000 W.	22.000 Lm.
Lámpara de vapor de mercurio 125 W.	5.600 Lm.
Lámpara de sodio de 1000 W.	120.000 Lm.

## B) Nivel de iluminación

En nivel de iluminación o iluminancia se define como el flujo luminoso incidente por unidad de superficie.

$$E = \frac{\phi}{S} \quad \text{Lumen/m}^2 = \text{Lux}$$

A su vez, el Lux se puede definir como la iluminación de una superficie de 1 m<sup>2</sup> cuando sobre ella incide, uniformemente repartido, un flujo luminoso de 1 Lumen.

Ejemplos de niveles de iluminación:

Mediodía en verano	100.000 Lux.
Mediodía en invierno	20.000 Lux.
Oficina bien iluminada	400 a 800 Lux.
Calle bien iluminada	20 Lux.
Luna llena con cielo claro	0,25 a 0,50 Lux.

### C) Intensidad luminosa

La intensidad luminosa de una fuente de luz en una dirección dada, es la relación que existe entre el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido cualquiera, cuyo eje coincida con la dirección considerada, y el valor de dicho ángulo sólido expresado en estereoradianes.

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad \text{Candelas}$$

$I$  = Intensidad luminosa en candelas.

$\phi$  = Flujo luminoso en lúmenes.

$\omega$  = Ángulo sólido en estereoradianes.

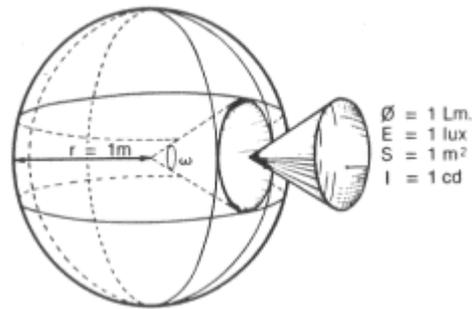
La candela se define también como 1/60 de la intensidad luminosa por  $\text{cm}^2$  del "cuerpo negro" a la temperatura de solidificación del platino (2.042 °K).

Con el fin de aclarar el concepto de ángulo sólido, imaginemos una esfera de radio unidad y en su superficie delimitemos un casquete esférico de  $1 \text{ m}^2$  de superficie. Uniendo el centro de la esfera con todos los puntos de la circunferencia que limitan dicho casquete, se nos formará un cono con la base esférica; el valor del ángulo sólido determinado por el vértice de este cono, es igual a un estereoradián, o lo que es lo mismo, un ángulo sólido de valor unidad.

En general, definiremos el estereoradián como el valor de un ángulo sólido que determina sobre la superficie de una esfera un casquete cuya área es igual al cuadrado del radio de la esfera considerada.

$$\omega = \frac{S}{r^2}$$

Según podemos apreciar en la figura, la definición de ángulo sólido nos da idea de la relación existente entre flujo luminoso, nivel de iluminación e intensidad luminosa.



Ejemplos de intensidad luminosa:

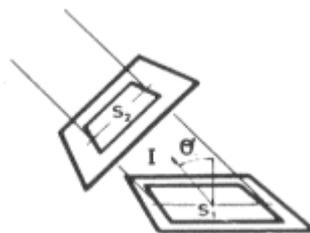
Lámpara para faro de bicicleta sin reflector	1 cd.
Lámpara PAR-64 muy concentrada	200.000 cd.
Faro marítimo ( Centro del haz )	2.000.000 cd.

#### D) Luminancia

Luminancia es la intensidad luminosa por unidad de superficie perpendicular a la dirección de la luz.

$$L = \frac{I}{S}$$

La luminancia L suele expresarse indistintamente en candelas/cm<sup>2</sup> o en candelas/m<sup>2</sup>.



Cuando la superficie considerada  $S_1$  no es perpendicular a la dirección de la luz, habrá que considerar la superficie real  $S_2$ , que resulta de proyectar  $S_1$  sobre dicha perpendicular.

$$S_2 = S_1 \cos \theta$$

por lo tanto:

$$L = \frac{I}{S_2} = \frac{I}{S_1 \cos \theta}$$

Ejemplos de luminancia:

Filamento de lámpara incandescente	10.000.000 cd./m <sup>2</sup>
Arco voltaico	160.000.000 cd./m <sup>2</sup>
Luna llena	2.500 cd./m <sup>2</sup>

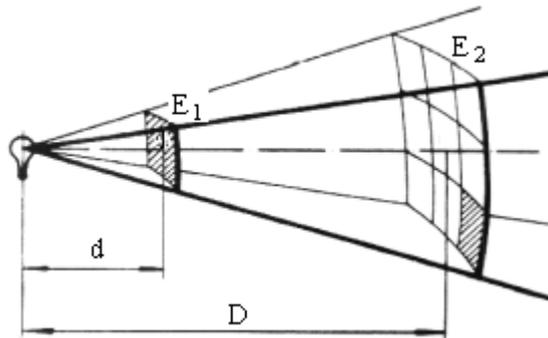
Con ayuda de la figura y algunas de las fórmulas anteriormente expuestas, podemos llegar a interesantes conclusiones, que más adelante nos servirán para los cálculos.

Siendo:

$$\phi = ES \quad ; \quad \omega = \frac{S}{r^2}$$

tendremos que

$$I = \frac{\phi}{\omega} = \frac{ES}{\omega} = Er^2$$



Si tenemos en cuenta que los flujos luminosos y las intensidades luminosas son iguales en ambas superficies, tendremos que:

$$I = E_1 d^2 \quad ; \quad I = E_2 D^2$$

de donde:

$$E_1 d^2 = E_2 D^2 \quad ; \quad \frac{E_1}{E_2} = \frac{D^2}{d^2}$$

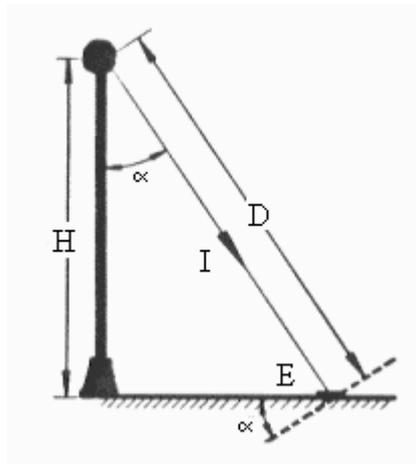
Según estas fórmulas observamos como una fuente de luz con una intensidad luminosa de 200 candelas en la dirección del eje de la figura determina sobre un punto situado a 1 metro de distancia, un nivel de iluminación de:

$$E = \frac{I}{d^2} = \frac{200}{1^2} = 200 \text{ lux}$$

Si ahora suponemos que el punto está situado a 3 metros, el nivel de iluminación se verá reducido en una novena parte.

$$E = \frac{200}{3^2} = \frac{200}{9} = 22,2 \text{ lux}$$

Cuando la superficie iluminada no es perpendicular a la dirección del rayo luminoso, la iluminancia o nivel de iluminación, viene modificado por el coseno del ángulo de incidencia, que es el ángulo formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto considerado.



Así tendremos que:

$$E = \frac{I \cos \alpha}{D^2}$$

Suponiendo que el punto de luz se encuentra a una altura H, sobre la horizontal,

$$\cos \alpha = \frac{H}{D} \quad ; \quad D = \frac{H}{\cos \alpha}$$

y por tanto,

$$E = \frac{I \cos^3 \alpha}{H^2}$$

Por ejemplo, si suponemos una fuente de luz a una altura de 8 metros, con una intensidad luminosa de 200 candelas, en un punto que forma  $20^\circ$  con la vertical, el nivel de iluminación en dicho punto será:

$$E = \frac{200 \cos^3 20}{8^2} = 2,59 \text{ lux}$$