

CURSO de LUMINOTECNIA



CETArq
Profesor Ingeniero ROBERTO CAMPOY

PRIMER CAPITULO

1. INTRODUCCIÓN A LA LUMINOTECNIA

1.1 Introducción

Primero el hombre limita su actividad a las horas de sol, pero al descubrir el fuego, continúa buscando la forma de iluminarse más y mejor.

De ahí se desarrollan a) lámparas de aceite

b) velas

c) lámparas de kerosén

d) lámparas de gas

Por fin, cuando dispuso de electricidad, la iluminación artificial entró en su etapa más brillante y sigue avanzando día a día. La luminotecnica tiene por objeto la utilización racional de la luz artificial.

1.2 Naturaleza de la luz

Desde el punto de vista físico, la luz es la parte del espectro electromagnético comprendida entre los 380 nm y 780 nm. El resto del espectro no es visible al ojo, por lo tanto no es luz. El espectro visible es:

380nm a 436nm ----- violeta

436nm a 480nm ----- azul

480nm a 495nm ----- verde azulado

495nm a 530nm ----- verde

530nm a 566nm ----- amarillo verdoso

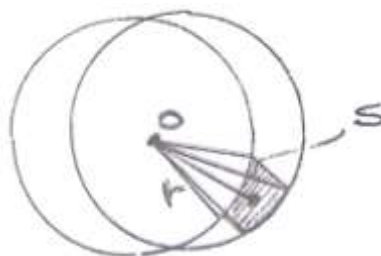
566nm a 589nm ----- amarillo

589nm a 627nm ----- anaranjado

627nm a 780nm ----- rojo

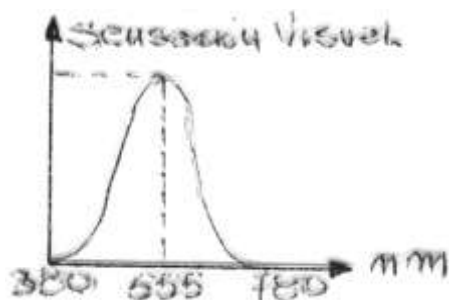
1.3 Angulo sólido

En geometría plana limitamos una porción del plano, con un ángulo, en el espacio limitamos una porción del mismo con lo que llamamos ángulo sólido. El ángulo sólido es la porción del espacio comprendido entre el centro de la esfera O y la superficie de la misma S.



1.4 Curva de sensibilidad del ojo humano

El ojo humano no es igualmente sensible a todas las radiaciones electromagnéticas, sino que se comporta según la figura. Esto significa que una cierta cantidad de energía radiada en 555nm, produce más sensación visual que la misma cantidad de energía en cualquier otra longitud de onda.



1.5 Flujo luminoso (Φ)

Es la potencia de una fuente de luz evaluada según la curva de sensibilidad del ojo humano. Se mide en Lúmenes. Se define también como la cantidad de luz que emana de una fuente por unidad de tiempo.

Lámpara de bicicleta -----	10 lúmenes
Lámpara fluorescente 40W -----	2800 lúmenes
Na de alta presión 400W -----	40000 lúmenes
Lámpara incandescente 60W -----	720 Lm
Hg color corregido 400W -----	23000 Lm

1.6 Iluminancia (E)

Es la densidad de flujo luminoso que incide uniformemente distribuido sobre una determinada superficie, se mide en Lux.

$$E = \Phi / S \text{ (Lúmenes/m}^2\text{)}$$

Los ingleses usan la fotocandela que equivale a 10,76 Lux.

Mediodía de verano con cielo despejado -----	100000 Lux
	10000 Lux
	5000 Lux
	0,4 Lux
	1000 Lux

Mediodía de invierno -----
 Mediodía de verano bajo un balcón -----
 Luna llena -----
 Iluminación de oficinas -----
 Campos de deporte para TV. color -----

1.7 Intensidad luminosa (I)

Una fuente de luz, emite en distintas direcciones, pudiendo ser su distribución, uniforme o no. Este concepto entonces, esta ligado indefectiblemente a una dirección, por lo tanto la I se define como el flujo luminoso emitido por una fuente por unidad de ángulo sólido en una dirección dada. Se mide en Candelas.

$$I = \Phi / w \text{ (lúmenes / sterorradián)}$$

Relaciones:

$$I = \Phi / w \quad \Phi = I \cdot w \quad E = \Phi / S = I \cdot w/S \quad w = S / d^2 \quad E = (I \cdot S) / (S \cdot d^2) = I / d^2$$

O sea que la iluminancia en un punto, está dada por la intensidad luminosa que incide en ese punto en forma perpendicular, dividida por la distancia al cuadrado del punto a la fuente.

1.8 Luminancia (L)

Es la relación de la intensidad luminosa emitida en una dirección dada con respecto a la superficie aparente de la fuente de luz vista desde la dirección considerada, se mide en Cd/m²

$$L = I / \text{Sup. aparente de la fuente}$$

Todas las fuentes luminosas son superficies aparentes vistas desde el punto donde ellas inciden, ejemplo rectángulos, círculos, etc.

Sol ----- 165000 Cd/m²

Lámpara incandescente 40W ----- 2000 Cd/m²

Luna llena ----- 0,5 Cd/m²

Lámpara Hg clara ----- 350 Cd/m²

El concepto de L, se aplica tanto a las fuentes de luz, como a las superficies iluminadas ya que éstas por reflexión, pueden considerarse fuentes de luz aunque de segundo orden, como por ejemplo el pavimento en el estudio del alumbrado público (A.P.).

1.9 Rendimiento luminoso (N)

Es la relación entre el flujo luminoso total entregado por una fuente y la potencia consumida por ella.

Se mide en Lúmenes por watio.

Teóricamente, el mayor rendimiento de una fuente, o sea que emitiera toda su luz, dentro de la curva de sensibilidad del ojo humano, y sobre el máximo de la curva, sería de 680 Lúmenes/W

Lámpara incandescente ----- 20 Lm/W

Dulux ----- 40 Lm/W

Lámpara Hg. ----- 50 Lm/W

Lámpara Hg. halogenado ----- 95 Lm/W

Lámpara mezcladora ----- 25 Lm/W

Lámpara fluorescente ----- 80 Lm/W

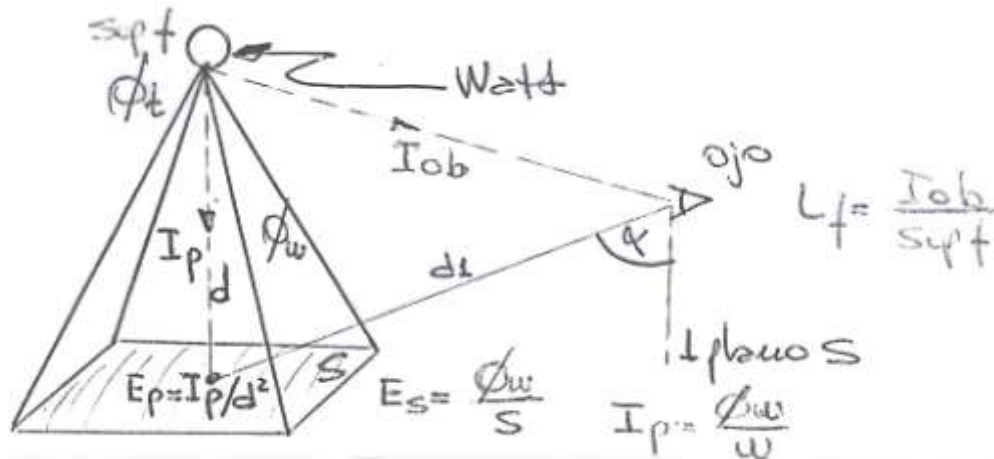
Tubo de tres bandas ----- 95 Lm/W

Lámpara de Na AP ----- 110 Lm/W

Lámpara de Na BP ----- 170 Lm/W

Luciérnaga ----- 621 Lm/W

1.10 Interrelación de magnitudes



Para la mejor interpretación de la figura anterior se describe a continuación el proceso:

- 1º) Se le entrega potencia a la fuente
- 2º) Emite un flujo Φ_t en lúmenes
- 3º) Emite intensidad luminosa I en todas direcciones que pueden ser iguales o distintas
- 4º) La luminancia vista desde o es $L_f = I_{ob} / Sup. f$
- 5º) Si la fuente ilumina el plano S en forma perpendicular $E_s = \Phi_w / S$

$$6^\circ) E_p = I_p / d^2$$

7°) Si la I es Cte. en todas las direcciones $E_p = E_s$, si no NO

8°) P visto desde o es $E_p = I \cdot \cos \alpha / d_1^2$

Veremos ahora dos leyes fundamentales

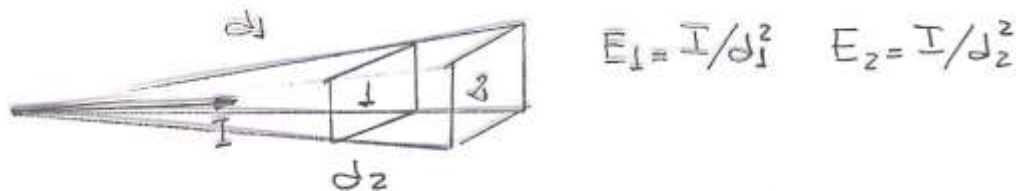
1.11 Ley del coseno

Queda expresada en el dibujo y según lo indicado en el punto 8°.

La iluminancia E estará afectada por el valor del coseno de ángulo que forma la dirección de la luz, con la perpendicular del plano de que se trata.

1.12 Ley de los cuadrados inversos

Si una fuente ilumina dos superficies como 2 y 1, las E en dichas superficies son inversamente proporcionales a los cuadrados de las distancias a las fuentes.



1.13 Transmisión, reflexión y absorción

En general la luz que llega a nuestros ojos no es directa sino que sufre modificaciones en los distintos objetos y en el medio ambiente.

Cuando un haz de luz incide sobre una superficie, una parte de él se refleja, otra es absorbida y en algunos casos otra parte lo atraviesa, por lo tanto el \varnothing se divide en \varnothing_r , \varnothing_t , \varnothing_a .

$$\text{Coef. de reflexión} = r = \frac{\varnothing_{obl}}{\varnothing_r} \qquad \text{Coef. de transmisión} = t = \frac{\varnothing_{obl}}{\varnothing_r}$$

$$\text{Coef. de absorción} = \alpha = \frac{\varnothing_{obl}}{\varnothing_r} \qquad \text{la } \varepsilon = 1$$

Lo más importante luminotécnicamente en cuanto a la ejecución de proyectos es el coeficiente de reflexión de los distintos materiales cuando son iluminados con luz blanca.

Estuco blanco nuevo y seco--	-----0,7 a 0,8
Estuco blanco viejo-----	-----0,3 a 0,6
Pintura de Al-----	-----0,6 a 0,75
Hormigón viejo-----	-----0,05 a 0,15
Ladrillo viejo-----	-----0,05 a 0,15
Madera clara -----	-----0,55 a 0,65
Madera oscura-----	-----0,15 a 0,4
Cortinas rojas-----	-----0,1 a 0,2
Cortinas gris plata-----	-----0,15 a 0,25
Terciopelo negro-----	-----0,005 a 0,01
Ni pulido-----	-----0,53 a 0,63
Al pulido-----	-----0,65 a 0,75
Al mate-----	-----0,55 a 0,6
Cromo pulido-----	-----0,6 a 0,7
Hojalata-----	-----0,68 a 0,7

Factores de reflexión, absorción y transmisión

Material	Factor de reflexión ρ	Factor de absorción n α	Factor de transmisión τ	Observaciones
Superficie pintada castaña				Reflexión difusa
... » » roja	0,1 - 0,5	0,9 - 0,5		» »
... » » verde	0,1 - 0,35	0,9 - 0,65	0	» »
... » » azul	0,1 - 0,6	0,9 - 0,4	0	» »
... » » gris	0,05 - 0,5	0,95 - 0,5	0	Reflexión semidirigida
.. » » negra	0,2 - 0,6	0,8 - 0,4	0	
... » »	0,04 - 0,08	0,96 - 0,92	0	
... » »				

Vidrios y cristales				
Vidrio opaco negro				Reflexión dirigida
. . .		0,95		Reflexión difusa
Vidrio opaco blanco		0,25 - 0,2		Transmisión muy dirigida
. .	0,5	0,02		» escasamente
Vidrio transparente claro (2 a 4mm.)	0,75 - 0,8	0,06 -		difusa
. .	0,08	0,17	0	» escasamente
» deslustrado al ext. (1,5 a	0,07 -	0,05 -	0	difusa
2mm.)	0,20	0,07	0,9	» difusa
» deslustrado al int. (1,5 a	0,06 -	0,04 -	0,87 - 0,63	» »
3mm.)	0,16	0,08	0,89 - 0,77	» »
Vidrio opalino blanco (1,5 a 3mm.) .	0,30 -	0,92 -	0,66 - 0,36	» »
. .	0,55	0,93	0,04 - 0,02	» »
» » rojo (2 a 3mm.)	0,04 -	0,85 -	0,1 - 0,06	» »
. .	0,05	0,86	0,2 - 0,12	
» » anaranjado (2 a	0,05 -	0,55 -	0,09 - 0,03	
3mm.) .	0,08	0,58	0,1 - 0,03	
» » amarillo (2 a 3mm.)	0,25 - 0,3	0,83 -		
. . .	0,08 - 0,1	0,87		
» » verde (2 a 3mm.) . .	0,08 - 0,1	0,82 -		
. . .		0,87		
» » azul (2 a 3mm.) . . .				
. . .				
Otros materiales				
Papel blanco				Reflex. difusa
. . .				difusa
Pergamino sin colorear	0,6 - 0,8	0,3 - 0,1	0,1 - 0,2	» » »
. . .	0,48	0,1	0,42	» » »
Pergamino amarillo	0,4 - 0,2	0,2 - 0,63	0,4 - 0,17	» Reflex. semidirg. »
. .	0,28 -	0,01	0,61 - 0,71	» » »
Seda blanca (tupida)	0,38	0,44 -	0,54 - 0,13	» » »
. . .	0,2 - 0,1	0,86		» » »
Seda de color (tupida).				» » »
. . .				

Continuación

Material	Factor de reflexión ρ	Factor de absorción α	Factor de transmisión n T	Observaciones
Plata pulida.	0,9 – 0,95	0,1 – 0,05	0	Reflexión muy dirigida
Espejo plateado.	0,7 – 0,85	0,3 – 0,15	0	» » »
Espejo azogado.	0,8 – 0,88	0,2 – 0,12	0	» » »
Aluminio pulido.	0,7 – 0,9	0,3 – 0,1	0	» » »
Aluminio mate.	0,55 – 0,6	0,45 – 0,4	0	Reflexión semidirigida
Pintura de aluminio.	0,6 – 0,7	0,4 – 0,3	0	Reflexión dirigida
Acero pulido.	0,55 – 0,65	0,45 – 0,35	0	Reflexión muy dirigida
Níquel pulido.	0,55	0,45	0	» » »
Cromo pulido.	0,6	0,4	0	» » »
Hojalata nueva.	0,7	0,3	0	» » »
Materiales de construcción				
Hormigón fresco y seco.				Reflexión difusa
Enyesado fresco y seco.	0,4 – 0,5	0,6 – 0,5	0	» »
.	0,8	0,2	0	» »
Enyesado viejo y seco.	0,6 – 0,7	0,4 – 0,3	0	» »
Piedra caliza.	0,35 – 0,65	0,65 – 0,35	0	
Mármol pulimentado e impregnado (7 a 10 mm de espesor).	0,05 – 0,3	0,87 – 0,67	0,08 – 0,03	Reflex. Semidirig. Transm. difusa
.	0,2 – 0,5	0,5 – 0,33	0,3 – 0,17	» » » »
Alabastro (11 a 13 mm de espesor).				
Pinturas y superficies pintadas				
Esmalte blanco.	0,6 – 0,75	0,4 – 0,25	0	Reflexión difusa y semidirigida
Superficie pintada blanca.	0,7 – 0,8	0,3 – 0,2	0	Reflexión difusa
» » amarilla.	0,3 – 0,7	0,7 – 0,3	0	» »
» » beige.	0,25 – 0,65	0,75 – 0,35	0	» »

1.14 Contraste

Supongamos un fondo de luminancia L_f , y un objeto que se muestra sobre él, de luminancia L_o . El contraste entre el objeto y fondo se define: como la diferencia umbral entre los dos, o sea entre objeto y fondo o viceversa, referido a la luminancia de fondo.

$$\Delta L/L_f$$

$$\Delta L = L_o - L_f \text{ ó } L_f - L_o$$

El contraste va de menos infinito a más 1.

1.15 Angulo visual mínimo

Quizás más importante que el contraste mínimo, es el menor objeto que se pueda ver. Esto depende de la distancia desde la cual es observado el objeto por lo tanto para independizarlo de la distancia se define el ángulo visual mínimo.

Si el ángulo es muy pequeño se puede definir como:

$$\alpha = a' / 1'$$

a' = medida del objeto

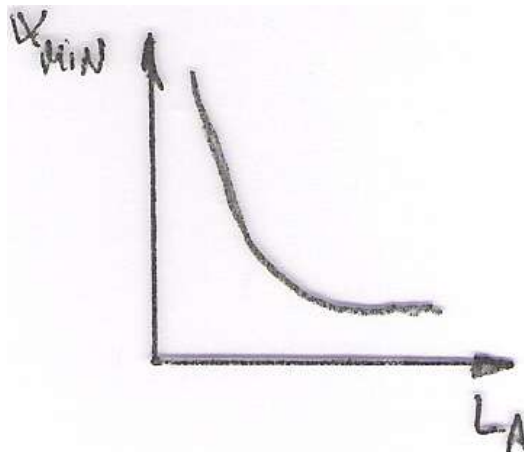
$1'$ = distancia del objeto al ojo

Para cada persona hay un ángulo visual mínimo y se define la agudeza visual como la inversa del ángulo visual mínimo.

Según muchos experimentos el ojo se adapta a la luminancia de fondo de un objeto por lo que $L_a = L_f$ (si el fondo es uniforme).

$$C_{\text{mínimo}} = (L_a - L_{o \text{ mínimo}}) / L_a$$

Nuevos test han dado el alfa mínimo en función de la L_a .

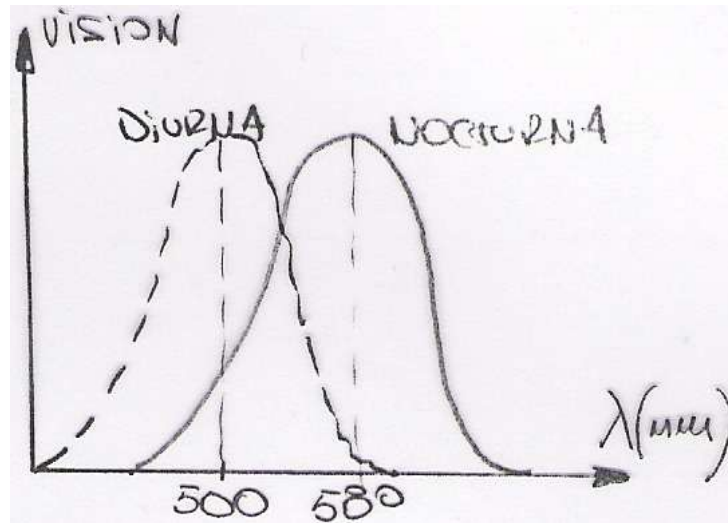


1.16 Visión

- Escotópica. Cuando el ojo está adaptado a luminancias menores o iguales a $0,05 \text{ cd/m}^2$, se denomina visión escotópica. En este caso los elementos activos son los bastoncitos por lo que no hay sensación de color, es la visión nocturna.

- b) Fotópica. Cuando el nivel es mayor a 3 cd/m^2 , en este caso los elementos activos son los conos por lo que hay sensación de color. Es la visión diurna.

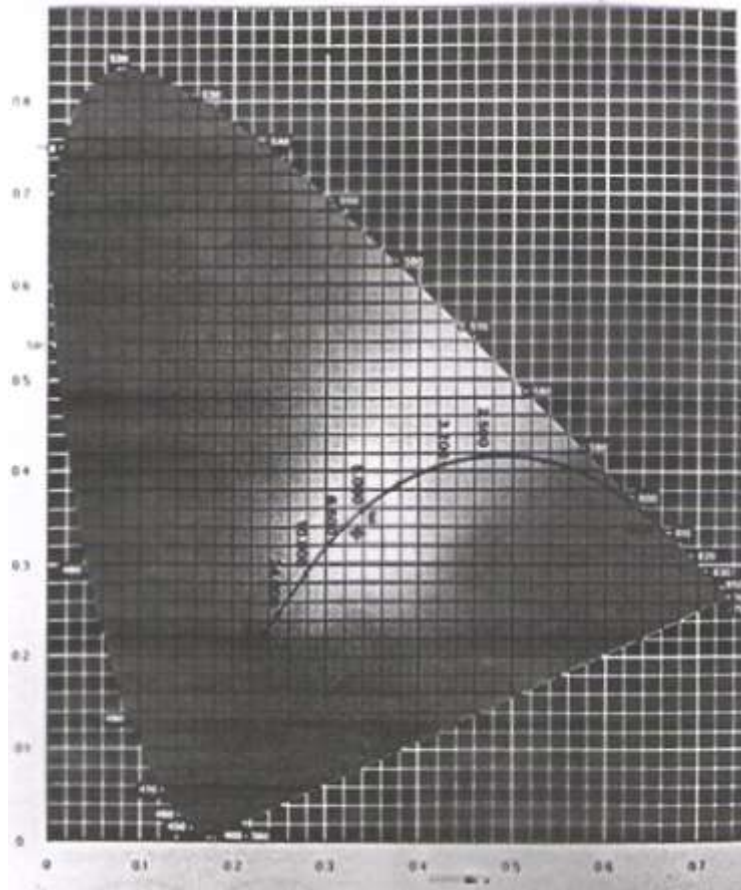
La visión puede definirse como la capacidad del ojo para percibir la energía radiante en distintas longitudes de onda dentro del espectro visible.



1.17 Color

1.17.1 Diagrama de cromaticidad

Permite la determinación matemática exacta de cualquier color mediante dos coordenadas de cromaticidad. Estas coordenadas especificadas por el fabricante para cada lámpara, ha sido calculada valiéndose de su distribución espectral, o sea de cómo emite la fuente en el espectro visible y la respuesta de un observador colorimétrico patrón ante los tres colores primarios que son rojo, azul y verde. El observador colorimétrico puede ser un aparato de medición que detecte porcentajes de color. Se tienen en cuenta el diagrama de cromaticidad (ya estándar) o sea que con él se determinan x e y de la fuente bajo ensayo. En el triángulo, desde 380 nm a 780 nm, y luego hasta infinito por la curva tenemos todos los colores, ejemplo $x=0,5$ e $y=0,5$ corresponde al amarillo.



1.17.2 Rendimiento en color

Para poder comparar las características cromáticas de distintas fuentes luminosas tenemos el concepto de índice de rendimiento en color basado en el aspecto de ciertos colores de prueba cuando están iluminados por distintas fuentes.

Al iluminar los colores de prueba, primero con la lámpara bajo ensayo y luego con el patrón resultan diferencias cromáticas cuyo promedio permite establecer el rendimiento color de la lámpara que se ensaya.

El índice de rendimiento en color se llama Ra. El Ra tiene un valor máximo de 100 que resulta si la distribución espectral, o sea el espectro de líneas, de la fuente de ensayar y de la lámpara patrón son iguales. Por ejemplo las lámparas incandescentes tienen un $R_a=0,99$, las fluorescentes un $R_a=0,6$ y los tubos fluorescentes de tres bandas un $R_a=0,85$ a 1.

1.17.3 Temperatura de color

El término se utiliza para describir el color de una fuente luminosa comparándola con la del radiador perfecto o sea que emite exactamente toda la luz que recibe y que es el cuerpo negro. La T° del cuerpo negro en la que se obtienen los mismos colores que con la fuente, se denomina temperatura color de la fuente.

Al trazar en el diagrama de cromaticidad las cromaticidades de un cuerpo negro para varias temperaturas, se forma una curva que se llama Lugar geométrico de Plank. Cualquier fuente que tenga su cromaticidad, o sea sus valores de x e y , en este lugar geométrico, puede describirse por su temperatura color. Por ejemplo si la fuente tiene $x=0,425$ / $y=0,415$, tendrá una temperatura color de 3200 °K.

