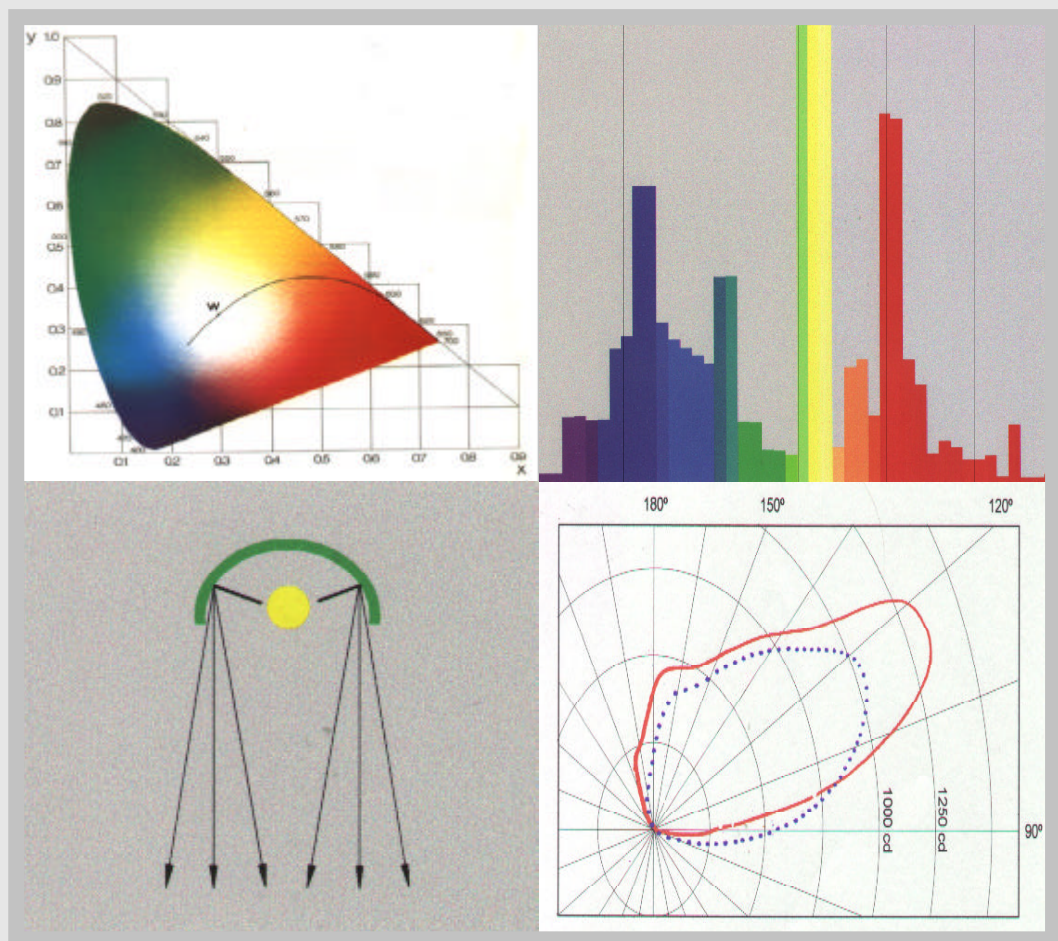


Manual de

Luminotecnia para interiores

por Carlos Laszlo



Índice	Página
- La visión del color - El espectro electromagnético	3
- La visión del color - El espectro visible	5
- Rendimiento de color	7
- Rendimiento de color : gráficos de distribución espectral	9
- Cuadro comparativo del índice de reproducción cromática de distintas fuentes de luz	11
- Temperatura de color	13
- Representación matemática del color: el triángulo cromático CIE	15
- Cuadro comparativo de la temperatura de color de distintas fuentes de luz	17
- Contraste de colores	19
- Reflectancia de materiales y colores	21
- Magnitudes y unidades de la luminotecnia:	
- Flujo luminoso	23
- Iluminancia	25
- Intensidad luminosa	27
- Luminancia	29
- Niveles de iluminación - Algunos niveles sugeridos para actividades diversas	31
- Niveles de iluminación - Aspectos psicológicos	33
- Las lámparas	
- Lámparas incandescentes	35
- Lámparas fluorescentes	37
- Lámparas a descarga	39
- Características de las lámparas más utilizadas en alumbrado interior	41
- Cuadro comparativo de la eficiencia de distintas fuentes de luz	43

(Continúa)

Indice (Continuación)

Página

- Las luminarias:	
- Los espejos	45
- La curva de distribución luminosa	47
- El rendimiento de la luminaria	49
- Tipos de distribución luminosa	51
- Leyes fundamentales de la luminotecnica:	
- Ley de la inversa de los cuadrados	53
- Ley del coseno	55
- El cálculo punto por punto	57
- Cálculo de interiores: método de las cavidades zonales	
- Método de las cavidades zonales	59
- El índice del local	61
- El factor de mantenimiento	63
- El coeficiente de utilización	65

Apéndice

Datos útiles de aplicación en luminotecnica	67
- Calcular el ángulo de una fuente	69
- Calcular el círculo que describe una fuente	69
- Calcular la distancia de instalación de una fuente	71
- Fórmulas trigonométricas	71
- Calcular la altura de una columna instalada	73
- Valores de las funciones trigonométricas de aplicación en luminotecnica	75
- Factores de reflexión de algunos colores	77

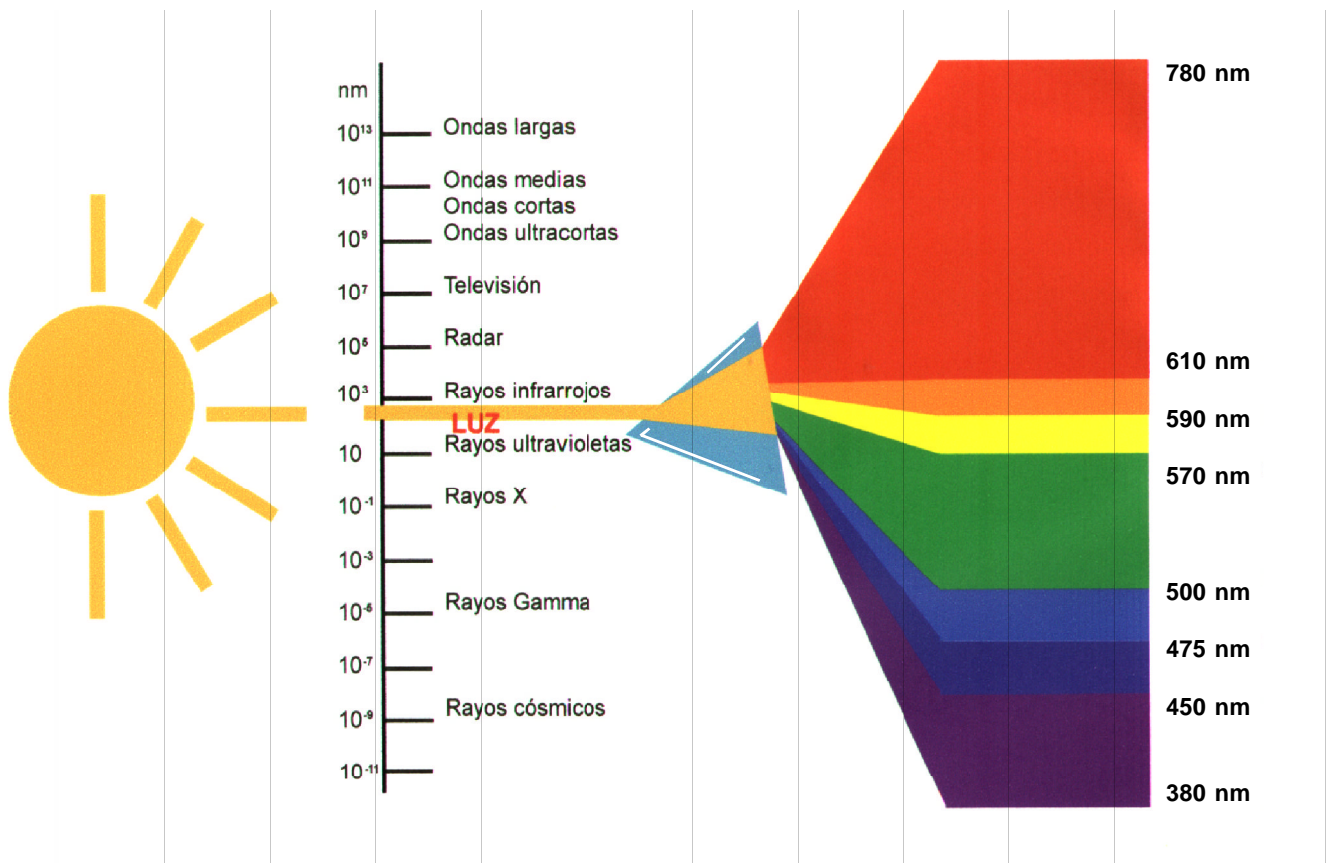
La visión del color

El espectro electromagnético:

El universo por doquier se encuentra rodeado por *Ondas Electromagnéticas* de diversas longitudes. La luz es la porción de este espectro que estimula la retina del ojo humano permitiendo la percepción de los colores. Esta región de las ondas electromagnéticas se llama *Espectro Visible* y ocupa una banda muy estrecha de este espectro.

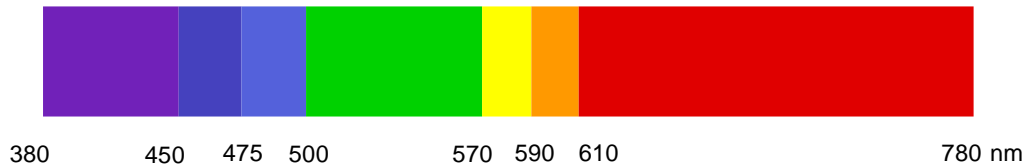
Cuando la luz es separada en sus diversas longitudes de onda componentes es llamada *Espectro*. Si se hace pasar la luz por un prisma de vidrio transparente, produce un espectro formado por los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul, indigo y violeta. Este fenómeno es causado por las diferencias de sus longitudes de onda. El rojo es la longitud del onda más larga y el violeta la más corta. El ojo humano percibe estas diferentes longitudes de onda como *Colores*.

El Espectro Electromagnético



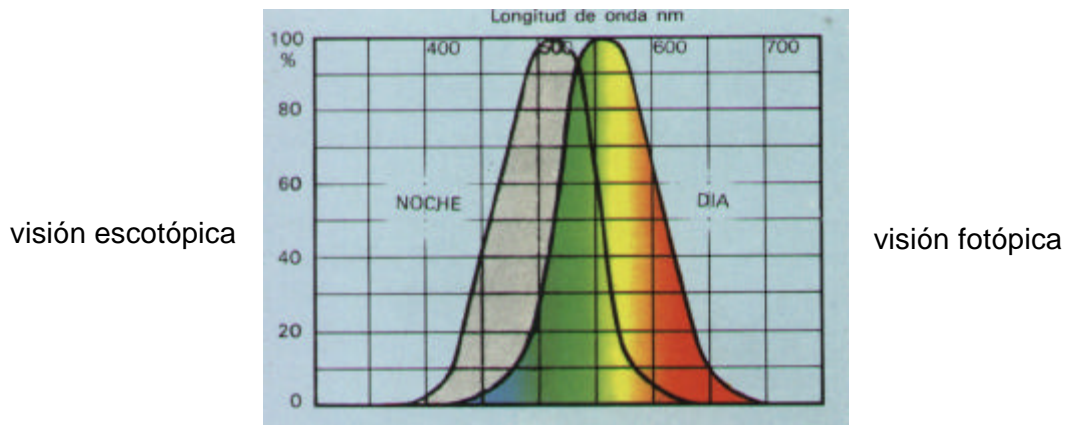
La visión del color

El espectro visible para el ojo humano es aquel que vá desde los 380nm de longitud de onda para el color violeta hasta los 780 nm para el color rojo. Fuera de estos límites, el ojo no percibe ninguna clase de radiación.



Espectro visible

La sensibilidad del ojo a las distintas longitudes de onda de la luz del mediodía soleado, suponiendo a todas las radiaciones luminosas de igual energía, se representa mediante una curva denominada “*curva de sensibilidad del ojo*” ó “*curva VI*”.



Curva VI y efecto Purkinje

El ojo tiene su mayor sensibilidad en la longitud de onda de 555 nm que corresponde al color amarillo verdoso y la mínima a los colores rojo y violeta. Esta situación es la que se presenta a la luz del día ó con buena iluminación y se denomina “*visión fotópica*” (actúan ambos sensores de la retina: los *conos*, fundamentalmente sensibles al color y los *bastoncillos*, sensibles a la luz).

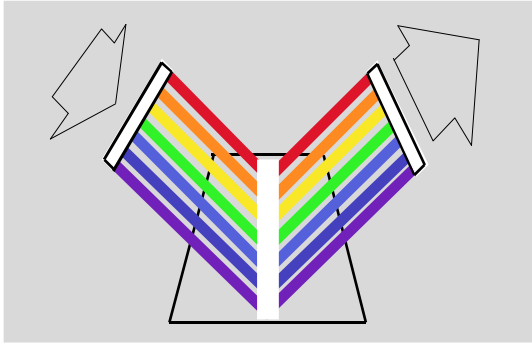
En el crepúsculo y la noche, (“*visión escotópica*”) se produce el denominado Efecto Purkinje, que consiste en el desplazamiento de la curva VI hacia las longitudes de onda más bajas, quedando la sensibilidad máxima en la longitud de onda de 507 nm. Esto significa que, aunque no hay visión de color, (no trabajan los conos) el ojo se hace relativamente muy sensible a la energía en el extremo azul del espectro y casi ciego al rojo; es decir que, durante el Efecto Purkinje, de dos haces de luz de igual intensidad, uno azul y otro rojo, el azul se verá mucho más brillante que el rojo.

Es de suma importancia el tener en cuenta estos efectos cuando se trabaje con bajas iluminancias.

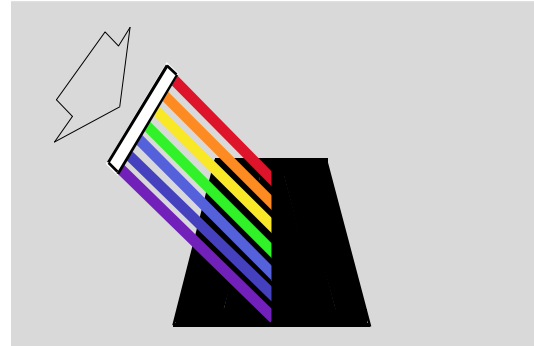
Rendimiento de color

“El color es luz...no existe el color sin luz”

Se dice que un objeto es rojo porque refleja las radiaciones luminosas rojas y absorbe todos los demás colores del espectro. Esto es válido si la fuente luminosa produce la suficiente cantidad de radiaciones en la zona roja del espectro visible. Por lo tanto, para que una fuente de luz sea considerada como de buen “rendimiento de color”, debe emitir todos los colores del espectro visible. Si falta uno de ellos, este no podrá ser reflejado.



Reflexión total de la luz blanca

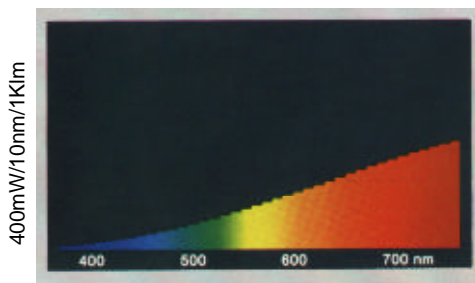


Absorción total de la luz blanca

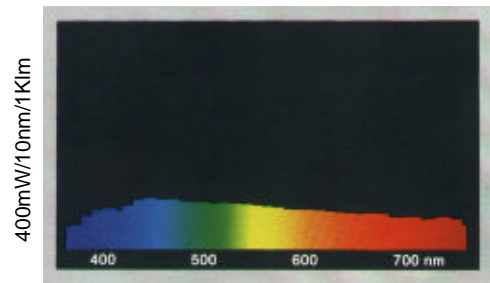
Las propiedades de una fuente de luz, a los efectos de la reproducción de los colores, se valorizan mediante el “Indice de Reproducción Cromática” (IRC) ó CRI (“Color Rendering Index”).

Este factor se determina comparando el aspecto cromático que presentan los objetos iluminados por una fuente dada con el que presentan iluminados por una “luz de referencia”.

Los espectros de las lámparas incandescentes ó de la luz del día se denominan “continuos” por cuanto contienen todas las radiaciones del espectro visible y se los considera óptimos en cuanto a la reproducción cromática; se dice que tienen un IRC= 100. En realidad ninguno de los dos es perfecto ni tampoco son iguales. (al espectro de la lámpara incandescente le falta componente “azul” mientras que a la luz del día “roja”)



Distribución espectral de una lámpara incandescente
Iluminante Standard CIE tipo A



Distribución espectral de la luz del día normal
Iluminante Standard CIE D65

Si por el contrario el espectro muestra interrupciones, como por ejemplo el de las lámparas de descarga, se dice que es un espectro “discontinuo”, ya que presenta diversas “lineas espectrales” propias del material emisor.

Rendimiento de color

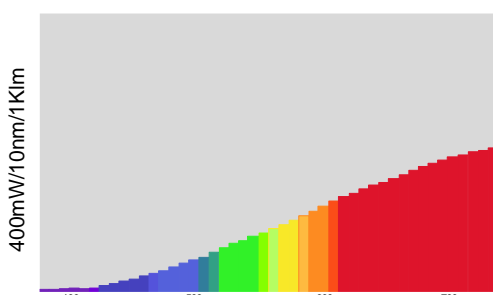
Los gráficos de distribución espectral:

Estos “gráficos o curvas de distribución espectral” permiten al proyectista tener una rápida apreciación de las características de color de una determinada fuente.

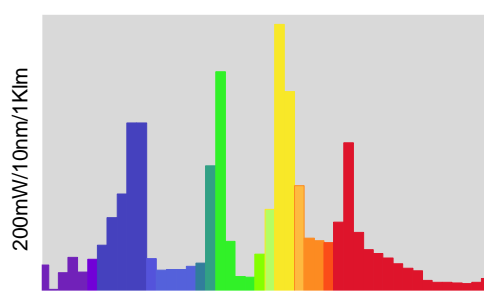
En base a este criterio se clasifican las fuentes de luz artificial. Se dirá que una lámpara tiene un rendimiento cromático óptimo si el IRC está comprendido entre 85 y 100, bueno si está entre 70 y 85 y discreto si lo está entre 50 y 70.

Se debe tener en cuenta que dos fuentes pueden tener el mismo IRC y distinta “Temperatura de color”. (Ver *Temperatura de color*) Por lo tanto es conveniente, cuando se compare capacidad de reproducción cromática, buscar que las lámparas tengan temperaturas de color aproximadas. Es obvio que, a igualdad de IRC, un objeto rojo se verá más brillante bajo 2800 K que bajo 7500 K.

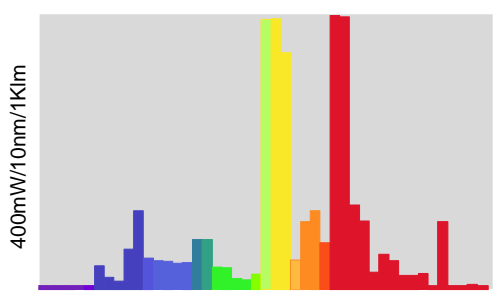
Gráficos de distribución espectral de diversas lámparas



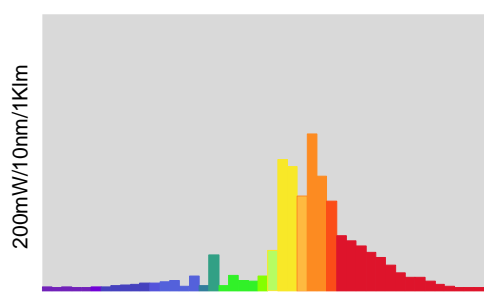
Lámpara incandescente



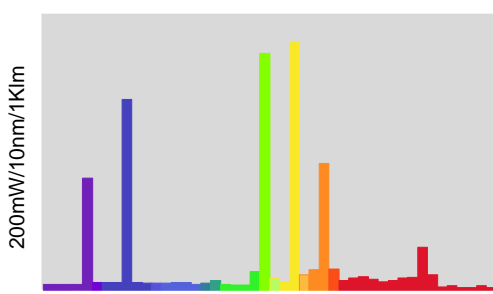
Lámpara a vapor de mercurio halogenado



Lámpara fluorescente trifosforo cálida



Lámpara a vapor de sodio de alta presión



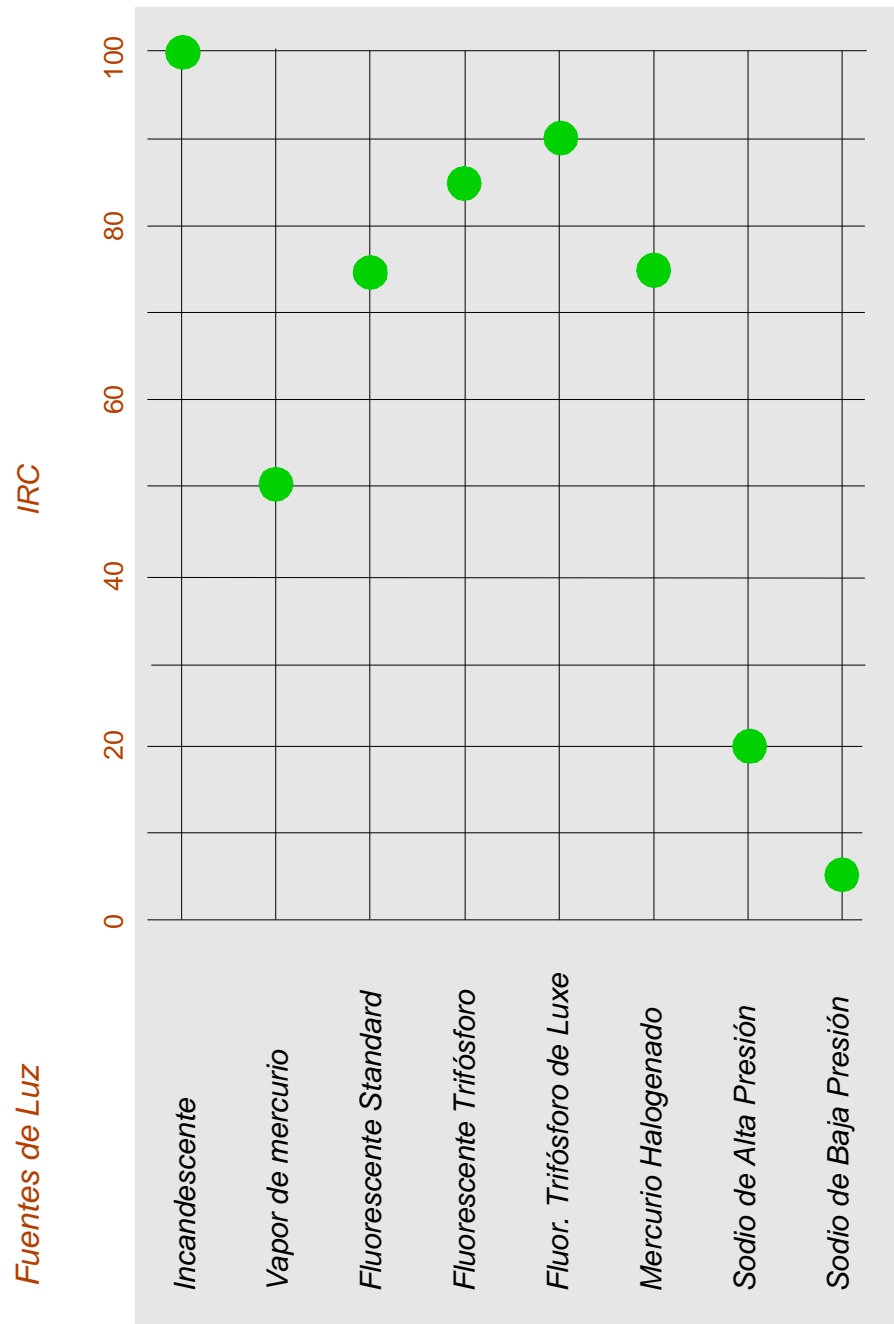
Lámpara a vapor de mercurio color corregido



Lámpara a vapor de sodio de baja presión

Rendimiento de color

Cuadro comparativo del Índice de Reproducción Cromática de Distintas fuentes de Luz (IRC)



Temperatura de color

La temperatura de color se mide en “*Grados Kelvin*” (*K*) y es la referencia para indicar el color de las fuentes luminosas (salvo aquellas que tengan de por sí un color señalado)

Cuando un metal es calentado, pasa por una gama de colores que van desde el rojo al azul, pasando por el rojo claro, naranja, amarillo, blanco y blanco azulado.

A los efectos de la temperatura de color, se habla de un “*radiante teórico perfecto*” denominado “*cuerpo negro*”. El cero de la escala Kelvin equivale a -273°C , lo que significa que exceden a la escala centígrada en 273°C . Así por ejemplo, una lámpara de 6500 K equivale al color que toma el “*cuerpo negro*” cuando es calentado a una temperatura de $6500 - 273 = 6227^{\circ}\text{C}$.

Las lámparas incandescentes tienen una temperatura de color comprendida entre los 2700 y 3200 K. Las lámparas fluorescentes ofrecen una amplia gama de temperaturas de color entre los 2700 K y los 6500 K.

Temperaturas de color de algunas fuentes en grados Kelvin (valores aproximados)

Cielo azul	10000 a 30000
Cielo nublado	7000
Luz solar al mediodía	5200
Luna	4100
Lámparas fluorescentes:	
Luz día	6500
Blanco neutro	4000
Blanco cálido	3000
Blanco cálido de lujo	2700
Lámparas incandescentes:	
Luz día 500 w	4000
Standard	2700 a 3200
Luz de una vela	1800

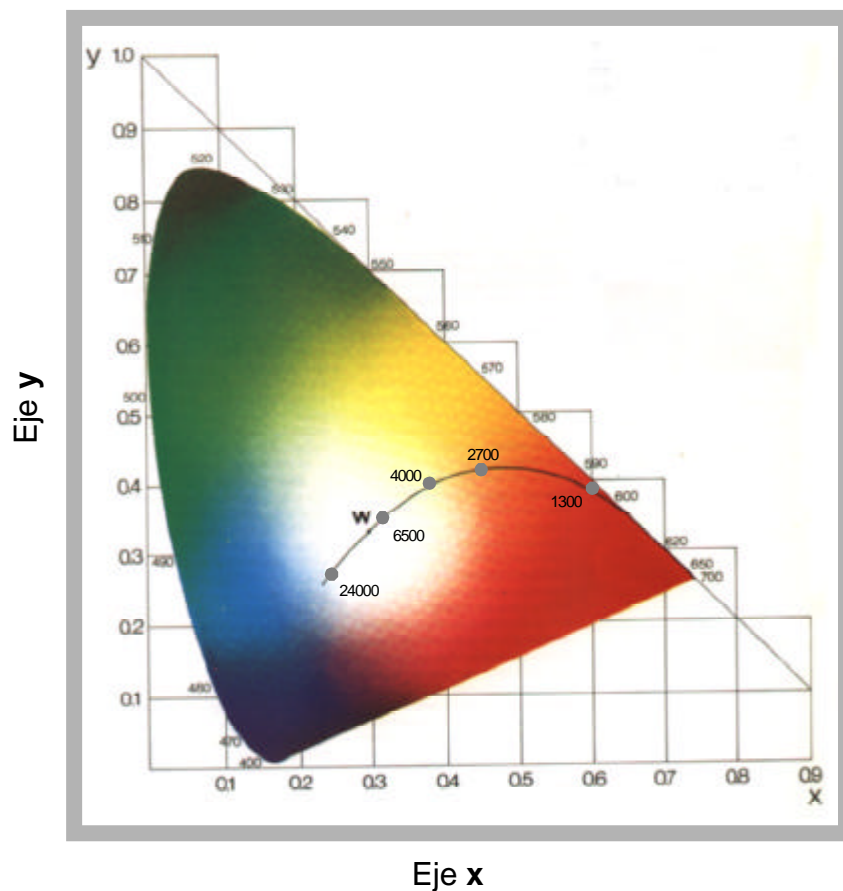
Representación matemática del color

Los colores del espectro visible y sus infinitas posibilidades de mezcla, pueden ser representadas matemáticamente. Existen varios sistemas de representación entre los que se cuentan el “*Sistema Munsell*”, el “*CIE L*a*b*”, el “*CIE L*c*h*”, el “*CIE Y, x, z*”, etc. De todos ellos, el más popular es el Sistema “*Y, x, y*” ó más conocido como “*Triángulo Cromático CIE*” (CIE - Commission Internationale de L’éclairage).

En el *Triángulo Cromático CIE*, todos los colores están ordenados respecto de tres coordenadas cromáticas x, y, z , cumpliéndose la igualdad $x + y + z = 1$. Esto significa que a partir de dos coordenadas cualesquiera puede definirse un color ó mezcla de colores.

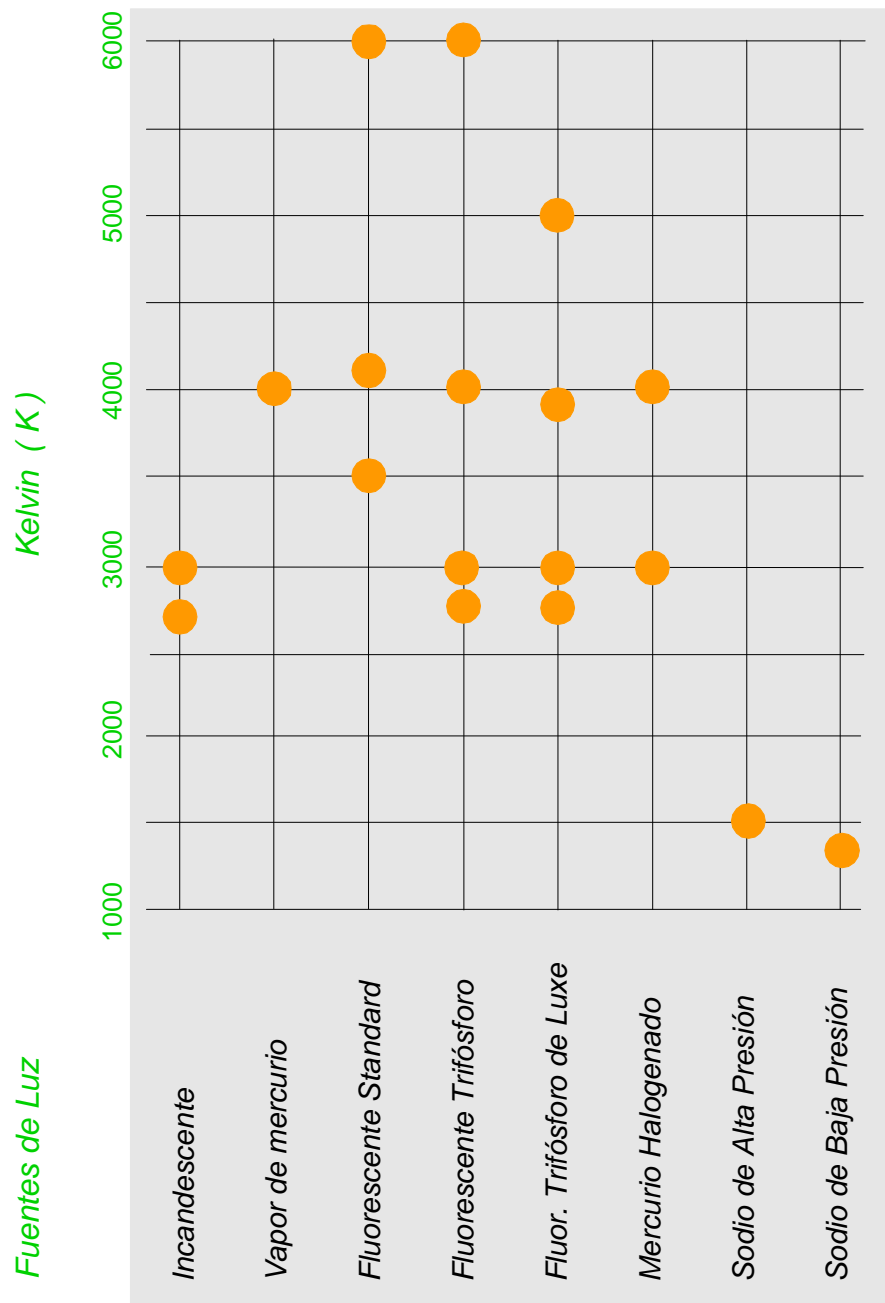
El triángulo presenta una forma curva en su parte superior que es el lugar geométrico de las radiaciones monocromáticas, cerrandose en su parte inferior por una línea recta llamada “*línea de los púrpura*”. La zona central del triángulo es acromática y sobre ella se pueden localizar los colores de todas las fuentes de luz artificial. El centro de esta zona es un punto blanco donde los valores de las coordenadas x, y, z son iguales entre sí (0.333 cada una). Cuanto más alejado del centro esté el punto buscado, más saturado será el color resultante.

Triángulo Cromático CIE



Temperatura de color

Cuadro comparativo de la temperatura de color de distintas fuentes de Luz (Kelvin)

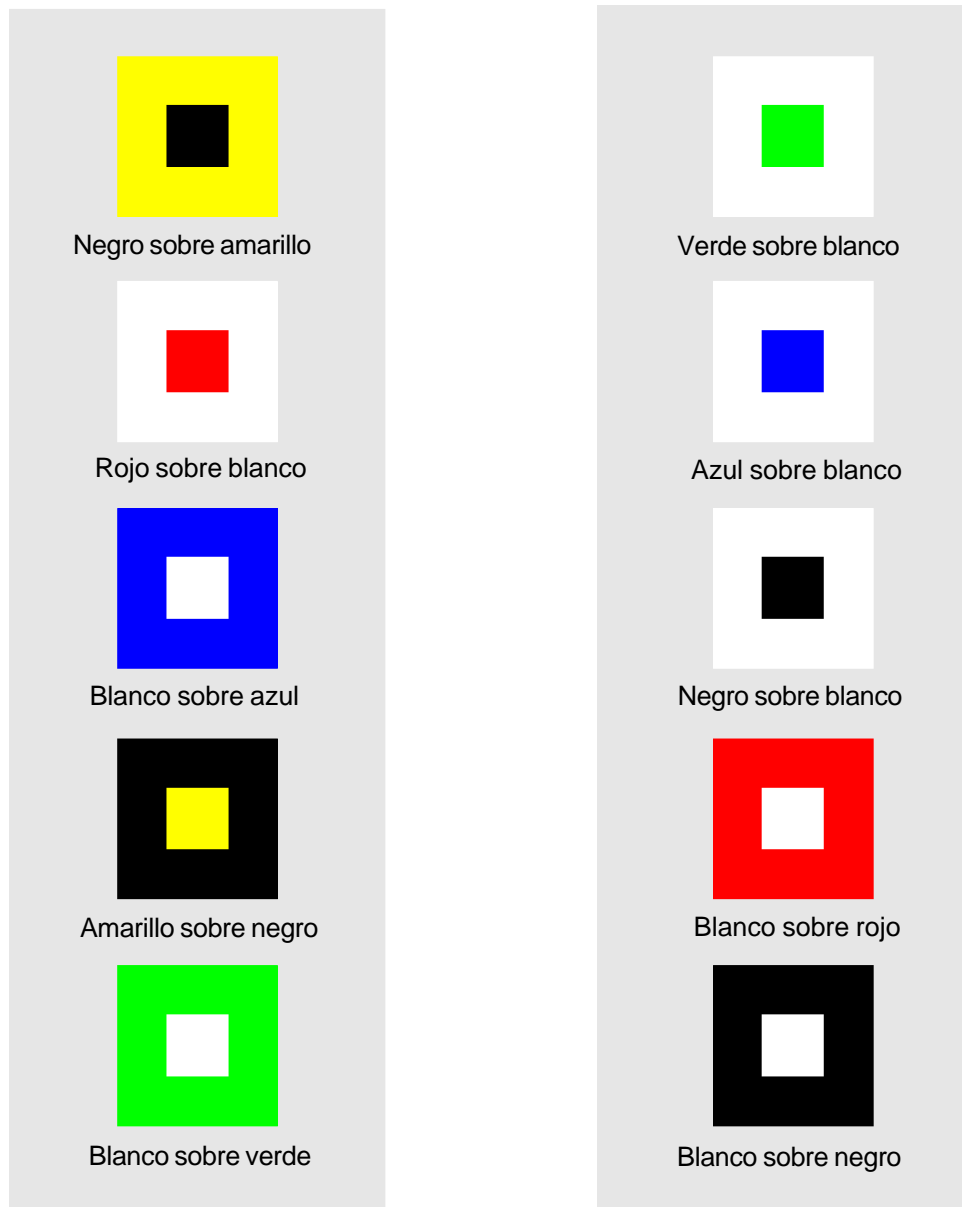


Contraste de colores

La combinación de los colores tiene aplicaciones no solo en el campo de la decoración ó el arte. Una adecuada combinación de ellos suele ser un recurso sumamente importante en el terreno de la señalización. Muchas de ellas son ya familiares en materia de seguridad, como lo es el caso del color negro sobre el amarillo en las barreras ferroviarias, etc.

A continuación se presentan algunas de las combinaciones de colores más efectivas.

Algunos de los contrastes de color más efectivos.



Reflectancias

El poder reflectante de las superficies que rodean a un local, juega un papel muy importante en el resultado final del proyecto de iluminación. Las luminarias emiten la luz de diversas formas según su tipo de distribución luminosa. Cuando esta emisión luminosa es del tipo abierta, habrá una gran parte de la luz que llegará en forma directa al plano de trabajo, es decir sin obstáculos; pero habrá también una porción importante de esa emisión que caerá sobre las paredes. Esa parte de la luz emitida por la luminaria, podrá ser reflejada y aprovechada en mayor ó menor grado según el poder reflectante de esas superficies.

Poder reflectante de algunos colores y materiales

Color	Refl. %	Material	Refl. %
Blanco	70-75	Revoque claro	35-55
Crema claro	70-80	Revoque oscuro	20-30
Amarillo claro	50-70	Hormigón claro	30-50
Verde claro	45-70	Hormigón oscuro	15-25
Gris claro	45-70	Ladrillo claro	30-40
Celeste claro	50-70	Ladrillo oscuro	15-25
Rosa claro	45-70	Marmol blanco	60-70
Marrón claro	30-50	Granito	15-25
Negro	4-6	Madera clara	30-50
Gris oscuro	10-20	Madera oscura	10-25
Amarillo oscuro	40-50	Vidrio plateado	80-90
Verde oscuro	10-20	Aluminio mate	55-60
Azul oscuro	10-20	Aluminio pulido	80-90
Rojo oscuro	10-20	Acero pulido	55-65

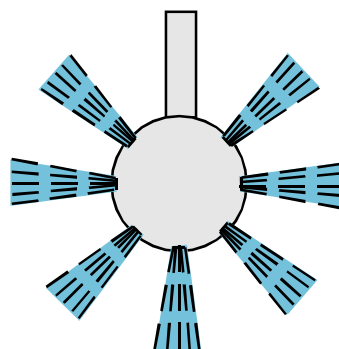
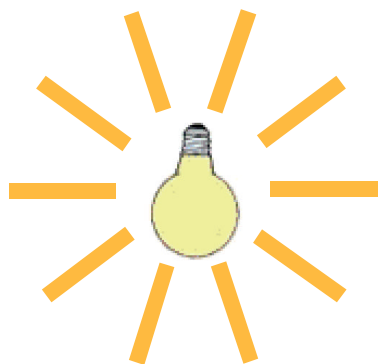
Magnitudes y unidades

Flujo luminoso:

Definición: cantidad de luz emitida por una fuente de luz en todas las direcciones.

Símbolo: F (Φ)

Unidad de medida: LUMEN (Lm)



Símil hidráulico: cantidad de agua que sale de una esfera hueca en todas las direcciones.

Ejemplos:

Lámpara incandescente para señalización	1 Lm
Lámpara para bicicleta	18 Lm
Lámpara incandescente clara de 40W	430 Lm
Tubo fluorescente de 36W	3000 Lm
Lámpara a Vapor de Mercurio de 400W	22000 Lm
Lámpara a Vapor de Sodio de Alta Presión de 400W	47000 Lm
Lámpara a vapor de mercurio halogenado de 2000W	170000 Lm

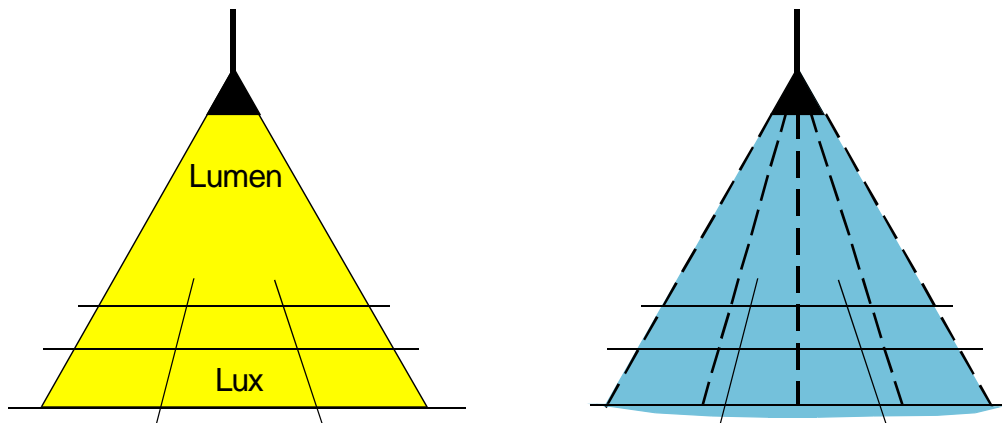
Magnitudes y unidades

Iluminación ó Iluminancia:

Definición: Es el flujo luminoso por unidad de superficie. (Densidad de luz sobre una superficie dada)

Símbolo: E

Unidad de medida: LUX (Lux = Lumen/m²)



Símil hidráulico: cantidad de agua por unidad de superficie

Ejemplos:

Luna llena	0,2 Lux
Iluminación de emergencia escape	1 Lux
Calle con buena iluminación	15 a 25 Lux
Dormitorio	70 a 100 Lux
Oficina de uso general	500 Lux
Salas de dibujo y cartografía	1000 Lux
Quirófano (campo operatorio)	15000 a 25000 Lux

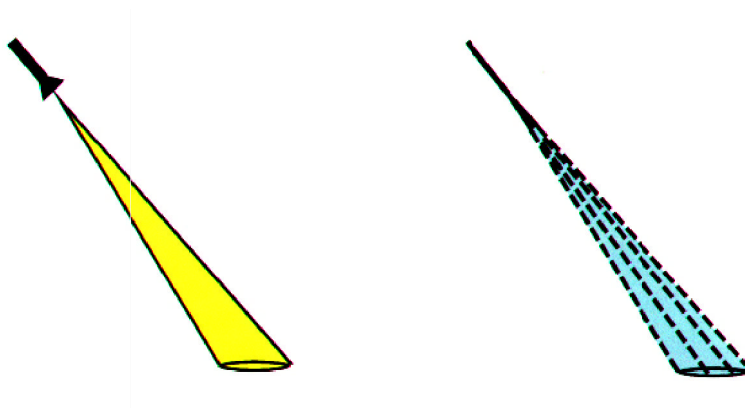
Magnitudes y unidades

Intensidad luminosa:

Definición: parte del flujo emitido por una fuente luminosa en una dirección dada, por el ángulo sólido que lo contiene

Símbolo: I

Unidad de medida: CANDELA (cd)



Símil hidráulico: intensidad de un chorro de agua en una dirección

Ejemplos:

Lámpara reflectora de 40W (centro del haz)	450 cd
Lámpara reflectora de 150W	2500 cd
Lámpara PAR 38 spot 120W	9500 cd
Lámpara dicróica 12V/50W/10°	16000 cd
Lámpara PAR 56 spot 300W	40000 cd
Lámpara halógena Super Spot 12V/50W/ 4°	50000 cd
Proyector spot NEMA 1 mercurio halogenado 2000W	170000 cd

Magnitudes y unidades

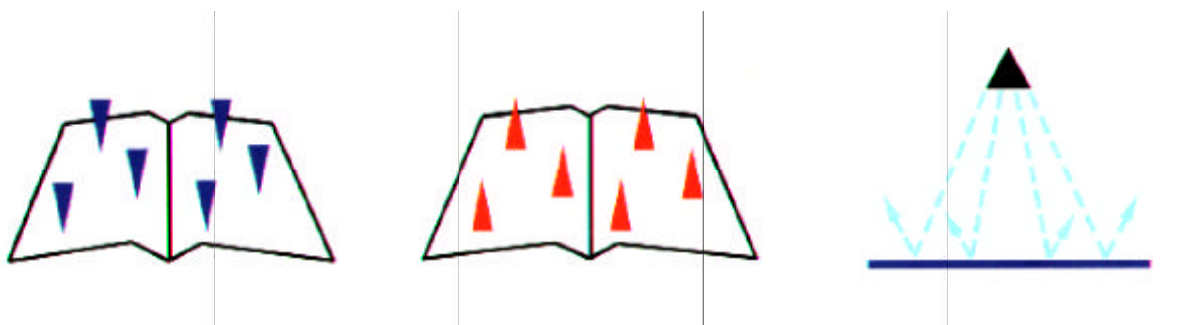
Luminancia:

Definición: intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie luminosa o iluminada.

(efecto de “brillo” que una superficie produce en el ojo)

Símbolo: L

Unidad de medida: candela por metro cuadrado (cd/m²)



Símil hidráulico: salpicaduras de agua que rebotan de una superficie. La cantidad de agua que rebota depende de la capacidad de absorción de la superficie.

Ejemplos:

Calle bien iluminada	2 cd/m ²
Papel blanco iluminado con 400 lux	100 cd/m ²
Papel blanco iluminado con 1000 lux	250 cd/m ²
Papel negro iluminado con 400 lux	15 cd/m ²
Luminancia ideal para las paredes de oficina	50 a 100 cd/m ²
Luminancia ideal para el cielorraso de oficinas	100 a 300 cd/m ²
Máxima luminancia admitida para pantallas de video	200 cd/m ²

Niveles de Iluminación

Algunos niveles de iluminación sugeridos para actividades diversas

EXTERIORES

Calle en zona residencial	4 a 7 Lux
Avenida comercial importante	15 a 20 Lux
Plazas	10 a 20 Lux
Playas de estacionamiento	50 Lux

INTERIORES: Residencial

Estar: iluminación general	100 Lux
iluminación localizada	200 Lux
lectura, escritura, etc.	400 Lux
Dormitorio: iluminación general	200 Lux
Cocina: iluminación general	200 Lux
iluminación de la mesada	500 a 800 Lux
Baño: iluminación general	100 Lux
iluminación sobre el espejo (nivel vertical)	200 Lux

INTERIORES: Oficinas

Halls y lobbys	200 Lux
Circulaciones	200 Lux
Salas de reuniones	300 Lux
Trabajo normal de oficina	500 Lux

INTERIORES: Varios

Restaurantes: íntimo	80 a 100 Lux
tipo gril	300 Lux

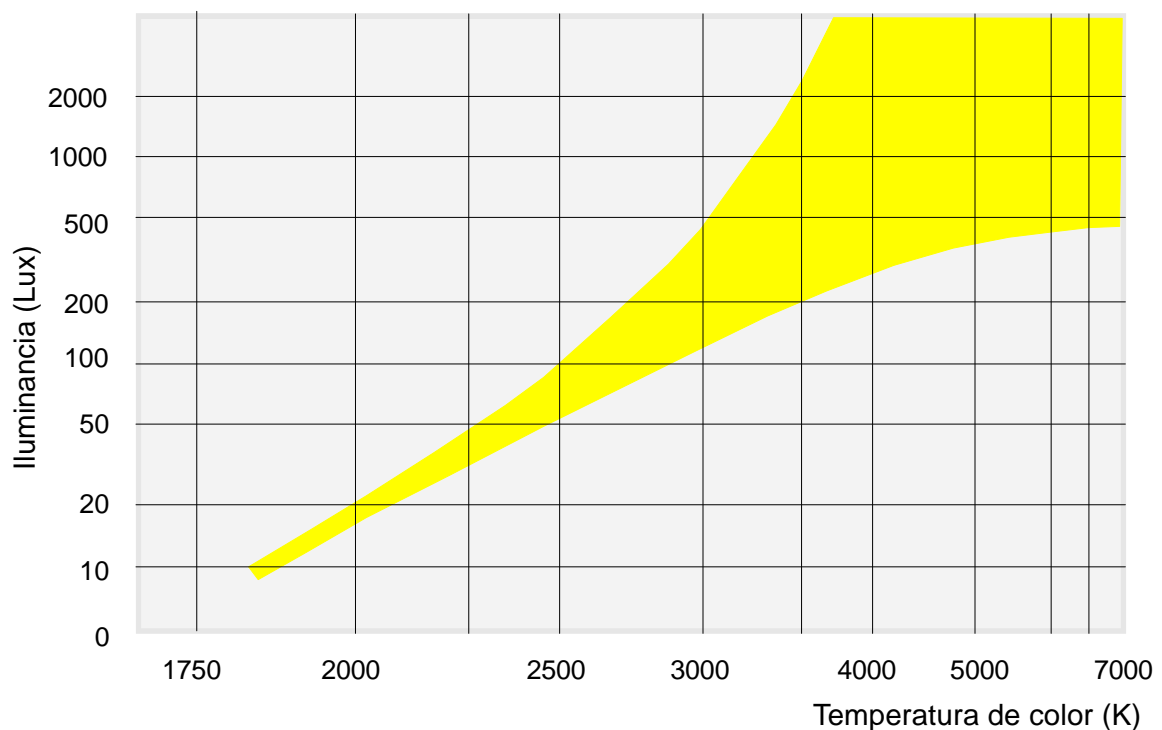
Niveles de Iluminación

Aspectos Psicológicos:

Es interesante observar la influencia psicológica de la temperatura de color sobre los niveles de iluminación. Está comprobado que, a mayor temperatura de color mayor debe ser la iluminancia.

Así por ejemplo, para lámparas de temperatura de color del orden de los 6000 K serán aconsejables iluminancias de más de 500 Lux, en tanto que para lámparas de 3000 K serán aceptables los niveles de iluminación comprendidos entre los 150 y los 500 Lux.

En el gráfico puede apreciarse fácilmente que con una iluminancia de 500 Lux resulta posible utilizar casi toda la gama de lámparas fluorescentes, ya sean lineales ó compactas.



Criterios de elección de la temperatura de color en función de la iluminancia

Otro aspecto psicológico destacable en lo que se refiere a los niveles de iluminación es el comportamiento humano en los lugares públicos. Sea por ejemplo el caso de un restaurante; si el local se encuentra iluminado con un nivel elevado (por ejemplo 500 Lux) será inevitable el bullicio y la conversación en voz alta, mientras que el mismo lugar, iluminado con 80 ó 100 Lux automáticamente “sugiere” la necesidad de bajar el tono de voz creando un clima más íntimo.

Esto mismo ocurre en el hogar. Difícilmente alguien se siente en su sillón preferido a disfrutar de buena música con las luces encendidas a pleno.

Las lámparas

Lámparas Incandescentes:

La lámpara incandescente es la lámpara de la iluminación del hogar, del alumbrado decorativo. Es la fuente de luz artificial más próxima a la luz del día. Es el símbolo de la “luz” en la vida del hombre.

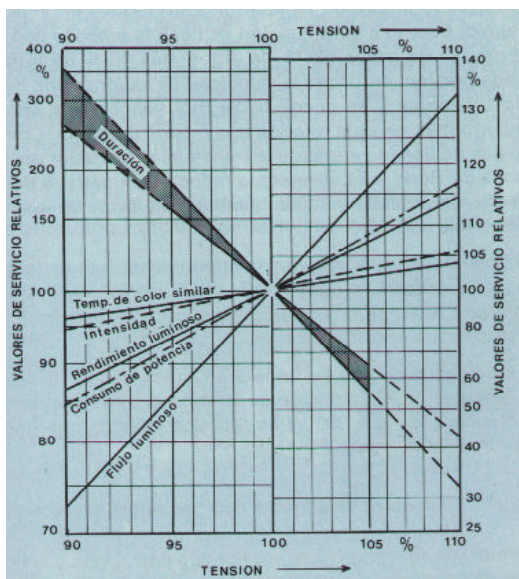
Para clasificarlas de alguna manera, se las puede separar en dos grandes grupos: lámparas incandescentes tradicionales y lámparas incandescentes halógenas.

En ambos grupos se las podrá hallar para funcionamiento en baja tensión (6, 12, 24, 48, 110 volts, etc) y para 220 volts.

Las incandescentes tradicionales se fabrican en los tipos Standard clara y opalina, con filamento reforzado, decorativas, reflectoras de vidrio soplado, reflectoras de vidrio prensado PAR 38 y 56, etc. Este tipo de lámparas tiene una vida útil del orden de las 1000 horas.

Las halógenas se obtienen en los tipos Bi-pin, dicroica, super-spot con pantalla metálica, lineal de doble contacto, reflectoras de vidrio prensado PAR 16, 20, 30 y 38, todas ellas del grupo del yodo como componente halógeno. La vida útil de este grupo oscila entre las 2000 y 4000 horas según el tipo.

También existe una nueva versión de pequeñas lámparas en baja tensión tipo bi-pin y de doble contacto (tipo “fusible”) con gas Xenón como halógeno. Estas lámparas introducen la novedad de poseer una muy larga vida (10000 a 20000 hs)



Las lámparas incandescentes son sumamente sensibles a la tensión de aplicación. En el gráfico se puede observar el comportamiento de las lámparas incandescentes halógenas en función de la tensión de aplicación.

Por ejemplo, si la lámpara trabaja con un 5% más de tensión, es decir aproximadamente 230 volts, la vida útil disminuirá casi un 50%. Si en cambio la tensión disminuye un 5%, la vida de la lámpara se prolongará aproximadamente un 50%. En este último caso, el flujo luminoso descenderá al 85% de su valor nominal, mientras que en el primer ejemplo aumentará al 115%. También variará con la tensión en forma directa la temperatura de color, el rendimiento lumínico y el consumo en potencia.

Una práctica habitual en USA, donde la utilización de la lámpara incandescente en iluminación decorativa goza de gran preferencia, es la de “dimerizar” (disminuir la tensión por medio de atenuadores o Dimmers) la instalación a valores del orden del 85% a los efectos de prolongar la vida de la lámpara, fundamentalmente en aquellos casos en los que la tarea de mantenimiento es dificultosa.

Las lámparas

Lámparas Fluorescentes:

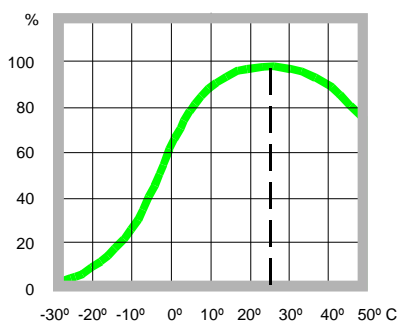
El tubo fluorescente es sin duda la lámpara versátil por excelencia. Une a su gran eficiencia (en la actualidad alcanza a los 104 Lm/W) una larga vida útil, superior a las 8000 horas y una amplia gama de temperaturas de color con óptima reproducción cromática. Hoy es posible iluminar con lámparas fluorescentes objetos que antes no se concebían iluminados más que por incandescentes, sin que se aprecie el cambio.

La lámpara fluorescente se presenta en una amplísima gama de potencias y tamaños.

Entre los tradicionales “tubos fluorescentes” lineales, se podrá optar por la línea Standard T8 de 26 mm de diámetro (las T12 de 38 mm de diámetro ya tienden a desaparecer) y reproducción cromática IRC 65, la línea Trifósforo con un IRC 85 y la Trifósforo de Lujo con IRC 90, todas en potencias de 18 a 58W. Actualmente se podrá optar también por la nueva línea de tubos T5 de 16 mm de diámetro con las mismas calidades de reproducción cromática que los T8 y en potencias de 14, 21, 28 y 35W y también de 24, 39, 54 y 80W.

En materia de compactas, se las puede hallar de las más diversas formas y potencias. Desde simples standard, simples largas, dobles, triples, dobles planas, dobles y triples con rosca E27 y equipo incorporado (ideales para el hogar) hasta circulares. Las potencias van desde 5W hasta 55W y el IRC es en general de 85, salvo en las simples largas que tienen su versión “de lujo” con IRC 90.

Es la lámpara obligada en la iluminación de oficinas, industrias, supermercados, etc. En lo que respecta a la iluminación de oficinas, la posibilidad que ofrecen las compactas de diseñar luminarias cuadradas y redondas ha introducido un importante avance en el campo arquitectónico de los cielorrasos, ya que permiten romper con la tradicional “direccionalidad” a la que obligaba el tubo convencional.



Variación en el flujo luminoso de las lámparas fluorescentes en función de la temperatura ambiente.

Como toda lámpara, el tubo fluorescente también tiene su punto débil que es la temperatura. Ya que se trata de una fuente de luz diseñada para trabajar a una temperatura de 25 °C, las temperaturas superiores o inferiores a ese valor la afecta notablemente, reduciendo su emisión de flujo luminoso.

Entre las medidas precautorias a tomar en consideración, es recomendable no instalar en una luminaria hermética más de dos lámparas para evitar el recalentamiento. También se deberá evitar el colocar luminarias abiertas (tubos a la vista) en lugares donde pueda haber corrientes de aire frío.

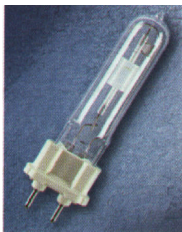
Las lámparas

Las lámparas a descarga:

Al hablar de las lámparas a descarga, es inevitable asociarlas con las poderosas fuentes de gran potencia e impresionantes paquetes de flujo luminoso. No obstante, para el alumbrado de interiores existe una más que interesante variedad de lámparas de pequeñas y medianas potencias que se adaptan perfectamente a la situación y que vienen a llenar un espacio que antiguamente era de difícil solución: el de las alturas intermedias.

En el alumbrado de interiores no siempre se trata de locales con alturas de cielorraso de 2,60 ó 3,00 metros; a menudo se presentan espacios de doble y triple altura (Lobbys, atrios, locales comerciales, etc.) que no pueden solucionarse económicamente con lámparas incandescentes ó fluorescentes. Para estos casos las lámparas a descarga de bajas potencias, con sus reducidas dimensiones y gran flujo luminoso, se presentan como una alternativa ideal.

Entre las más populares se destacan dos fuentes a vapor de mercurio halogenado de dimensiones sumamente reducidas. Se trata de los modelos tipo *Bi-pin* y *Doble contacto*.



Tipo Bi-pin

Estas pequeñas lámparas se presentan en potencias de 35, 70 y 150 W con flujos luminosos de 3400, 6600 y 14000 lúmenes respectivamente en la nueva versión con quemador cerámico.

Vienen en temperaturas de color de 3000 y 4000 K y funcionan en cualquier posición.

Por su reducido tamaño, son ideales para luminarias de dimensiones compactas como spots, asimétricos, wall washers, etc.

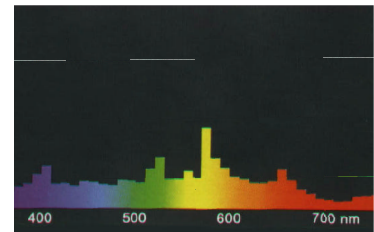
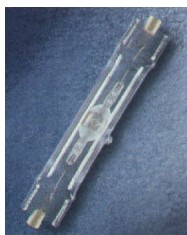


Gráfico de distribución espectral del tipo Blanco Neutro



Tipo Doble contacto

Las compactas de doble contacto se presentan en potencias de 70, 150 y 250W. Los flujos luminosos son de 5000, 11000 y 20000 lúmenes dependiendo de la temperatura de color.

También vienen en temperaturas de color de 3000 y 4000 K, pero tiene limitaciones en la posición de funcionamiento; solo horizontal con tolerancia de 45° hacia arriba y abajo.

Como las anteriores, son ideales para pequeñas luminarias pero en este caso con la posibilidad de mayor potencia disponible en el caso de la de 250W.

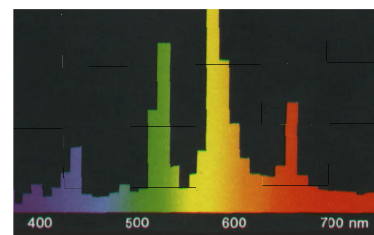


Gráfico de distribución espectral del tipo Blanco Cálido

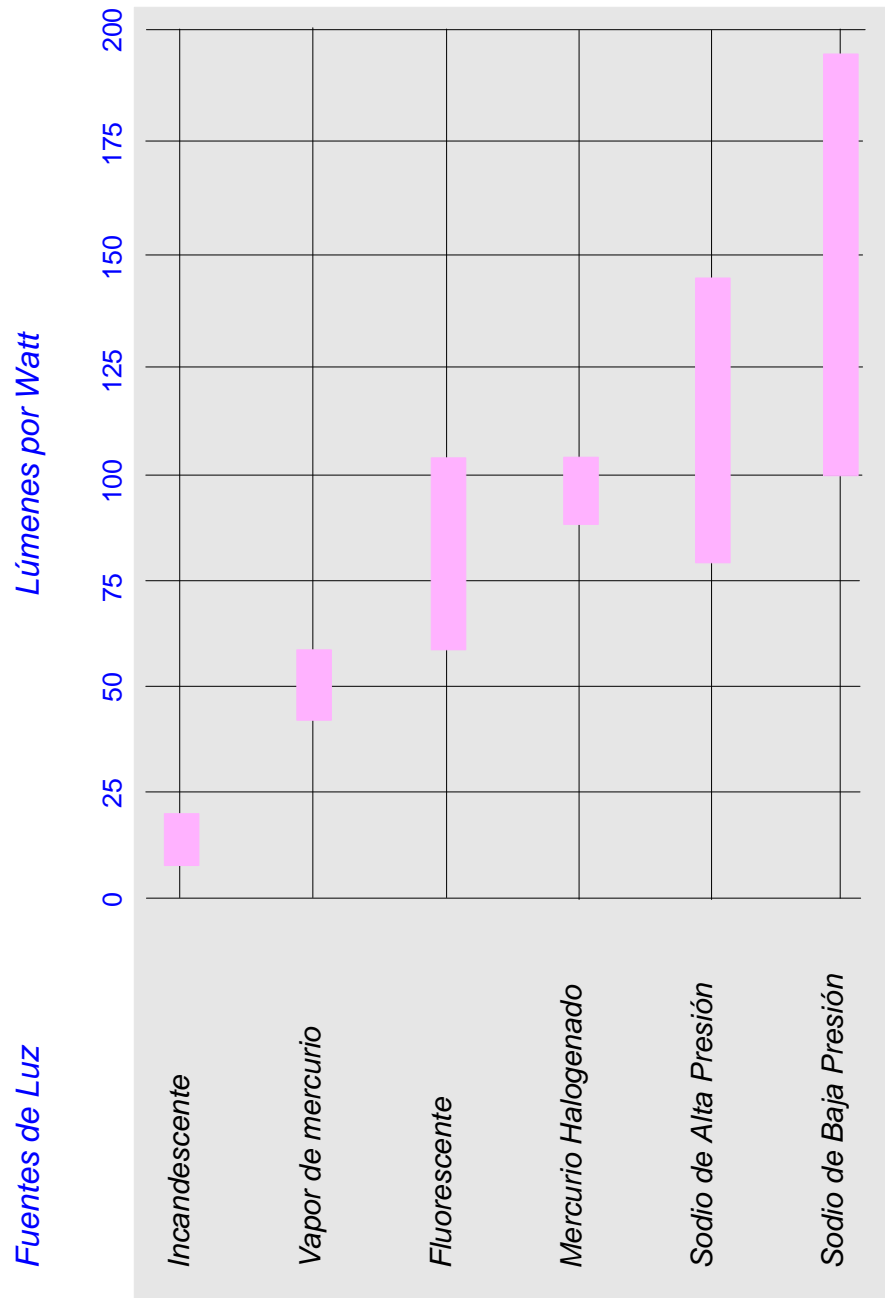
Las Lámparas

Algunas de las lámparas más utilizadas en interiores Características principales

Tipo de lámpara	Rango de potencias (w)	Vida útil (hs)	Rendimiento (lm/w)	IRC
INCANDESCENTES HALOGENAS				
-Con reflector dicroico 12V	20 35 50	3000	15 a 20	100
-Con pantalla metálica 12V	20 35 50 75 100	3000	15 a 20	100
-Tipo Bi-pin 12V	10 20 35 50 75 90	3000	15 a 20	100
-Lineal doble contacto 220V	100 a 2000	2000	15 a 22	100
-Con rosca E27 220V	60 75 100 150 250	2000	14 a 16	100
-Par 16 rosca E27 220V	50	2000	~20	100
-Par 20 rosca E27 220V	50	2000	~20	100
-Par 30 rosca E27 220V	75	2000	~20	100
FLUORESCENTES LINEALES T8				
-Linea standard	18 36 58	8000	61 a 79	65
-Tipo trifósforo	18 36 58	10000	72 a 94	85
-Tipo trifósforo de lujo	18 36 58	10000	55 a 67	90
FLUORESCENTES LINEALES T5				
-Tipo trifósforo	14 21 28 35	10000	17 a 104	85
-Tipo trifósforo	24 39 54 80	10000	73 a 81	85
FLUORESCENTES CIRCULARES				
-Linea standard (FH)	22 32 40	8000	45 a 70	65
-Tipo trifosforo (FQ)	22 32 40	10000	60 a 72	85
FLUORESCENTES COMPACTAS				
-Simples standard	5 7 9 11	8000	50 a 82	85
-Simples L	18 24 36 40 55	8000	67 a 87	85
-Dobles	10 13 18 26	8000	60 a 69	85
-Triples	18 26 32 42	8000	67 a 69	85
-Dobles planas	18 24 36	8000	61 a 78	85
-Reflectoras	15 20 36	8000	47 a 50	85
-Tipo globo	15 20	8000	47 a 50	85
-Circulares	18 28	8000	55 a 64	85
MERCURIO HALOGENADO				
-Tipo doble contacto	70 150 250	8000	71 a 80	85
-Tipo Bi-pin	35 70 150	8000	93 a 97	85

Las lámparas

Cuadro comparativo de la eficiencia de distintas fuentes de Luz (En Lúmenes por Watt)



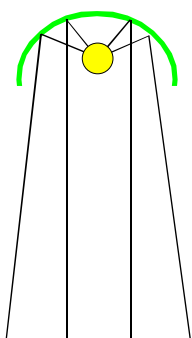
Las luminarias

Los espejos: tipos y características principales

La óptica de las luminarias es el elemento que define el tipo de emisión luminosa que tendrá esta. Las ópticas tienen un componente básico que es el espejo o reflector. Este será el encargado de “modelar” la distribución luminosa de cada luminaria.

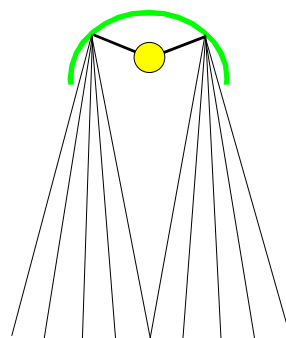
El material por excelencia para la construcción de los espejos es el aluminio en sus versiones básicas de brillante ó semi-mate. El aluminio brillante pulido a espejo, liso y anodizado, es el material indicado para todas aquellas ópticas en las que la precisión en el direccionamiento de los haces de luz sea fundamental.

Cuando lo que se busca es que la luminaria tenga una emisión de luz del tipo dispersora, el espejo que se utiliza generalmente es del mismo material pero “gofrado” (efecto de martillado del aluminio)



Reflector especular

Su superficie lisa y de alto poder reflectante permite una gran precisión en el direccionamiento de los haces pudiéndose lograr así luminarias de muy alto rendimiento.



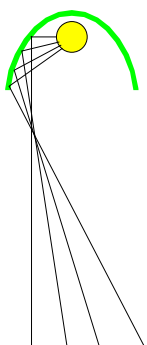
Reflector dispersor

Con aluminio de superficie “gofrada” y de alto poder reflectante se pueden lograr excelentes espejos destinados a distribuciones de luz más abiertas.

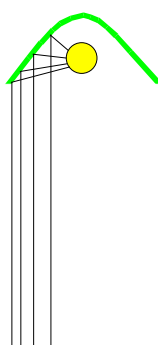
Es el caso de los proyectores tipo NEMA 4, 5, 6 y 7.

La forma en que la luminaria distribuya la luz depende casi exclusivamente de la conformación del espejo o reflector (a menos que exista algún otro elemento complementario como por ejemplo vidrios tipo “fresnel”, espejos adicionales, etc.).

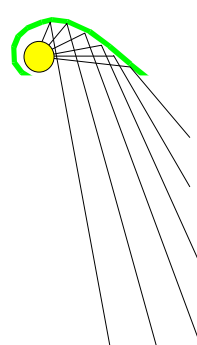
Los espejos pueden clasificarse por su forma en tres grandes grupos: circulares, parabólicos y elípticos. Existen otras formas y también combinaciones entre algunas de las anteriores (circular con parabólico, asimétricos, etc.). Sin duda los más populares son los reflectores parabólicos, elípticos y asimétricos.



Típico perfil del espejo de las luminarias destinadas a iluminar los puestos de trabajo con pantallas de video. El estudiado desarrollo de este reflector evita que las altas intensidades se extiendan por encima de un determinado ángulo (generalmente 65°) reflejándose en los monitores.



Reflector de espejo parabólico que muestra la tradicional concentración de haces paralelos producidos cuando una fuente puntual se encuentra en el centro del foco. La intensidad será mayor en el centro del haz. Con este perfil se logran proyectores de gran rendimiento.



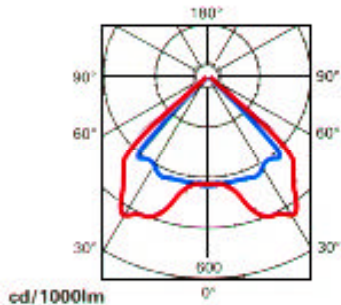
Clásico espejo asimétrico. Estos reflectores tienen la propiedad de dirigir los haces de luz hacia una sola mitad del emisferio inferior. Se los utiliza fundamentalmente en todos aquellos casos donde se desee iluminar intensamente una superficie vertical. (Wall washing, góndolas, etc.)

Las luminarias

La curva de distribución luminosa:

La curva de distribución luminosa es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una luminaria y transcribirlas en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares. La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección (a mayor distancia mayor intensidad).

Estas mediciones se efectúan en distintos planos verticales de la luminaria, ya que la emisión de luz podrá diferir de uno a otro plano según el tipo de lámpara y de difusor (louver)

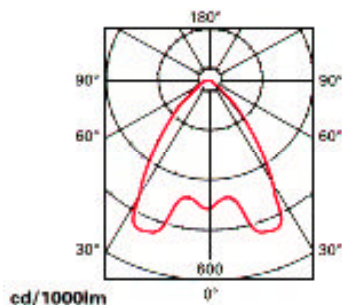


En general, la curva de distribución luminosa polar de una luminaria se representa mostrando dos de sus planos verticales; el transversal y el longitudinal (0° y 90°). Cuando la representación es en color, generalmente el plano transversal es rojo y el longitudinal azul o negro. Cuando se presenta en blanco y negro, el transversal es en trazo lleno y el longitudinal en punteado.

Habitualmente, la información fotométrica de una luminaria está dada para un flujo luminoso de 1000 Lm.

Una vez conformada la curva de distribución luminosa, esta dará lugar a todo el resto de la información fotométrica suministrada por el laboratorio de luminotecnia encargado del estudio (rendimiento de la luminaria, coeficiente de utilización, gráfico de luminancias, curvas isolux, etc.)

Mediante la curva de distribución luminosa podrá calcularse la iluminancia que produce una luminaria en un punto de una superficie. En efecto, si el tamaño de la fuente luminosa y la distancia a la superficie permiten aplicar la “*ley de la inversa de los cuadrados*”, podrá calcularse dicha iluminancia tomando de la curva la intensidad luminosa en el ángulo correspondiente a la dirección de enfoque aplicando la “*ley del coseno*”. (ver “*método punto por punto*”)



En los casos en los que la distribución luminosa de una luminaria tiene el mismo comportamiento en todos sus planos verticales, la curva polar se representa mediante un solo trazo generalmente de color rojo o bien en negro de trazo lleno.

Este es el caso de las luminarias de distribución luminosa con simetría alrededor de su eje vertical, conocidas como “sólido fotométrico”

La lectura de la curva de distribución luminosa permitirá optar por la luminaria más adecuada y lograr un proyecto más económico. Una luminaria de distribución “ancha” y buen rendimiento permitirá un gran distanciamiento entre las mismas sin sacrificar la uniformidad de la iluminación.

Las luminarias

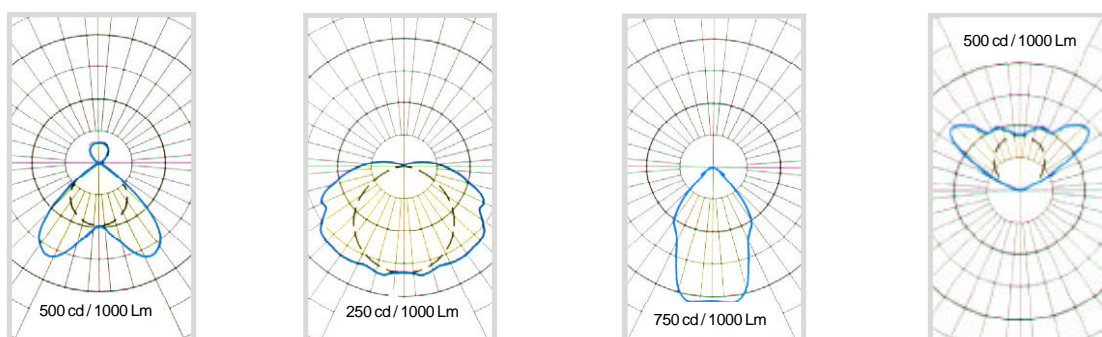
El rendimiento de la luminaria:

Del estudio fotométrico que realiza el laboratorio de luminotecnia sobre una luminaria, una de las informaciones de mayor utilidad para el luminotécnico la constituye el conocimiento del “*Rendimiento de la luminaria*”.

El rendimiento de la luminaria se expresa en porcentajes y se representa mediante la letra η (*eta*) del alfabeto griego. Así por ejemplo, una luminaria que posee un rendimiento del 60% se expresa $\eta = 60\%$.

El rendimiento de la luminaria permite conocer que cantidad del flujo luminoso de la fuente de luz utilizada es “*devuelto*” por dicha luminaria. Este dato es de vital importancia en el aspecto económico de una instalación de iluminación.

Existen luminarias que, por sus características constructivas como así también por los elementos reflectantes y difusores que la componen (espejos, pantallas, louvers, acrílicos, vidrios, etc) entregan un porcentaje muy pequeño del total del flujo luminoso emitido por la fuente. Esto da como resultado una instalación antieconómica tanto en la inversión inicial como en el costo del consumo eléctrico, por cuanto se deberán colocar demasiadas luminarias para obtener el nivel de iluminación deseado.



Las cuatro curvas de distribución luminosa que se ilustran corresponden a luminarias con un rendimiento de $\eta = 72\%$

Si bien el conocimiento del rendimiento de una luminaria es un elemento sumamente importante en el momento de la elección, este dato en forma aislada no es suficiente.

Para tener una idea cabal del comportamiento que una luminaria tendrá en un determinado proyecto, el dato del rendimiento deberá estar acompañado de la correspondiente “*curva de distribución luminosa*” ya que no es suficiente conocer el porcentaje de eficiencia del artefacto sino también de que forma “*distribuye*” la luz. Existen infinitas posibilidades de encontrar luminarias del mismo rendimiento pero con fotometrías totalmente distintas. Podrá haber un modelo que posea un rendimiento de $\eta = 60\%$ de emisión luminosa directa descendente y otro del mismo rendimiento pero de distribución luminosa asimétrica indirecta.

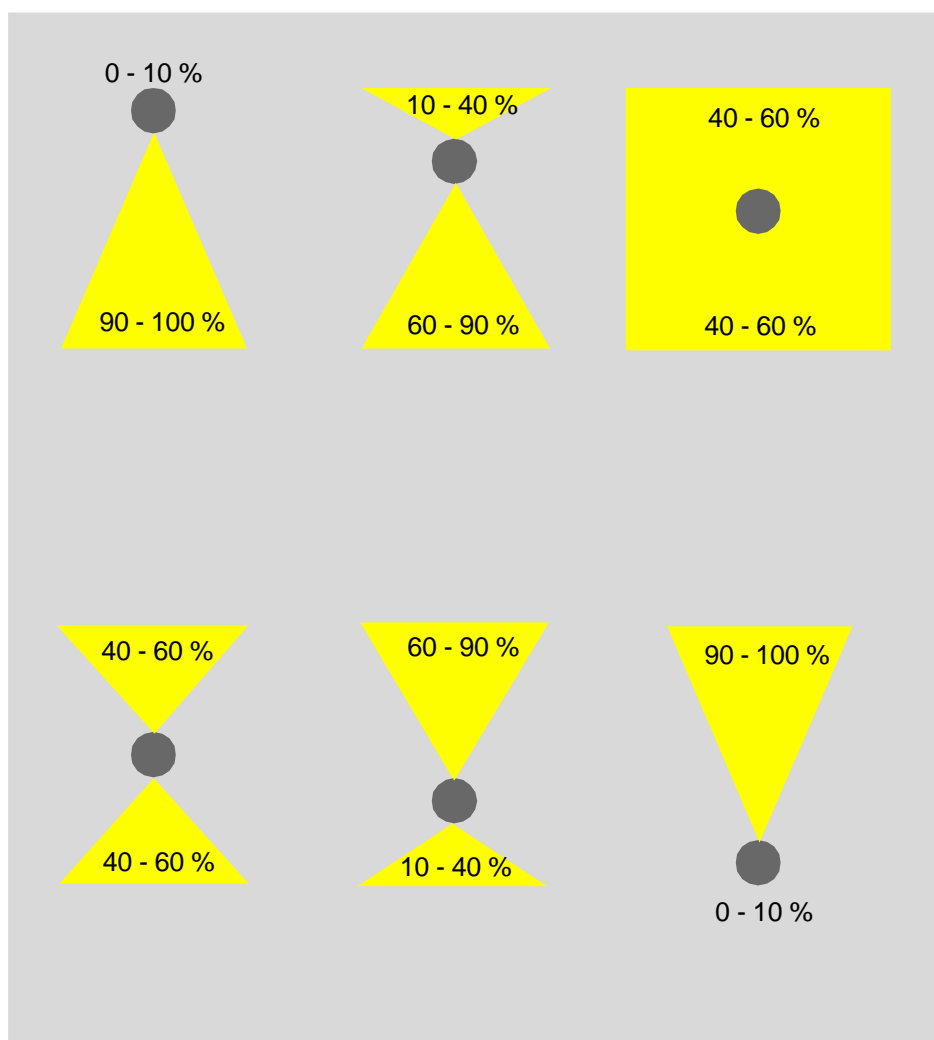
Las luminarias

La distribución luminosa:

La más importante de las funciones que cumple una luminaria es la de “modificar” la distribución del flujo luminoso que emana de la fuente a la cual contiene. Así podrá convertirse en un proyector, haciendo que la emisión sea fuertemente concentrada, o en difusora, y apantallar las lámparas ocultándolas del ángulo de visión para evitar el deslumbramiento.

Por la forma en que las luminarias distribuyen el flujo luminoso, se clasifican básicamente en seis grupos: directa, semi-directa, general difusa, directa-indirecta, semi-indirecta e indirecta.

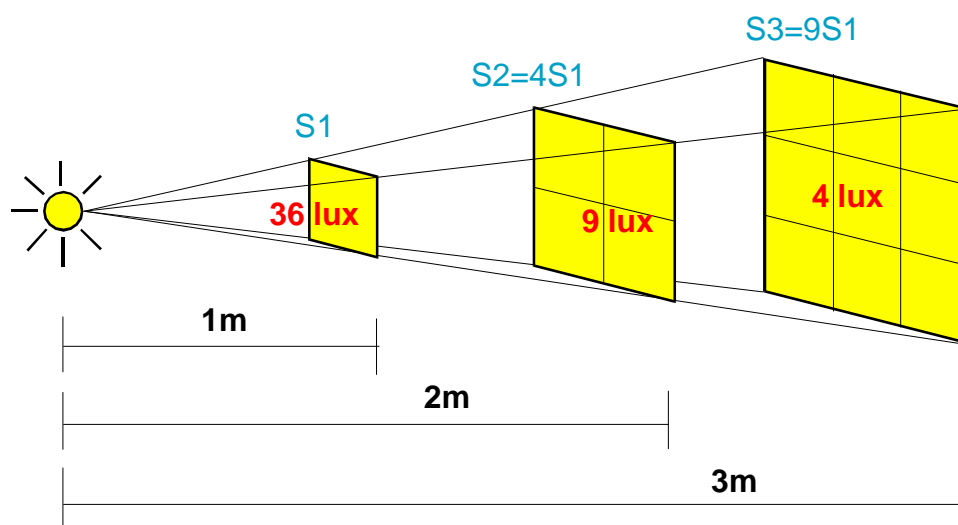
Clasificación de las luminarias según el tipo de distribución luminosa



Leyes fundamentales

Ley de la inversa de los cuadrados:

“La iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia existente entre la fuente de luz y la superficie iluminada”.



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

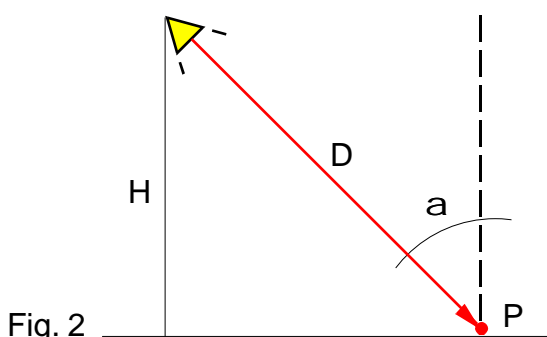
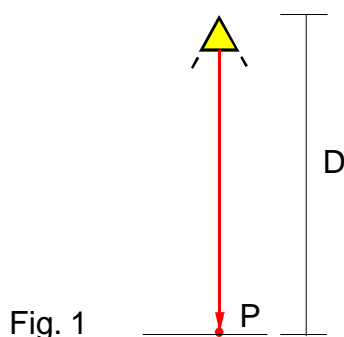
NOTA:

Esta ley es válida únicamente tratándose de fuentes puntuales, superficies perpendiculares a la dirección del flujo y cuando la distancia es grande en relación al tamaño de la fuente. La distancia debe ser al menos cinco veces la dimensión máxima de la luminaria. No es aplicable a fuentes de iluminación extensas (ej.: cielorrasos luminosos)

Leyes fundamentales

Ley del coseno:

“La iluminación es proporcional al coseno del ángulo de incidencia”. (este ángulo es el formado por la dirección del rayo incidente y la normal a la superficie en el punto de incidencia P)



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

Esta fórmula también puede expresarse de la siguiente manera:

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

En la ley de la inversa de los cuadrados, la superficie iluminada era perpendicular a la dirección de los rayos, ó sea que el ángulo de incidencia es $a = 0^\circ$, al cual le corresponde $\cos 0^\circ = 1$ (Figura 1)

$$E_p = \frac{I}{D^2} \times 1 \quad \text{ó} \quad E_p = \frac{I}{H^2} \times 1 \quad \text{Ley de la inversa de los cuadrados}$$

En la figura 2 el rayo se ha apartado de la normal un ángulo $a = 45^\circ$, por lo tanto:

$$E_p = \frac{I}{D^2} \times \cos 45^\circ \quad \text{ó} \quad E_p = \frac{I}{H^2} \times \cos^3 45^\circ$$

Esta expresión es válida para superficies horizontales; para superficies verticales será:

$$E_p = \frac{I}{D^2} \times \sin 45^\circ \quad \text{ó} \quad E_p = \frac{I}{H^2} \times \cos^2 45^\circ \times \sin 45^\circ$$

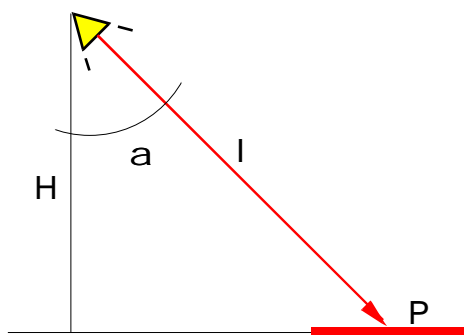
Métodos de Cálculo

El método Punto por Punto:

A diferencia del “*Método de las Cavidades Zonales*”, donde se calcula el “Nivel medio” de iluminación sobre un plano de trabajo considerando el aporte de las reflexiones de paredes, techo y piso y además la incidencia de un factor de mantenimiento o conservación de la instalación, el “*Método punto por punto*” se basa en la cantidad real de luz que se produce en un “punto” del área iluminada.

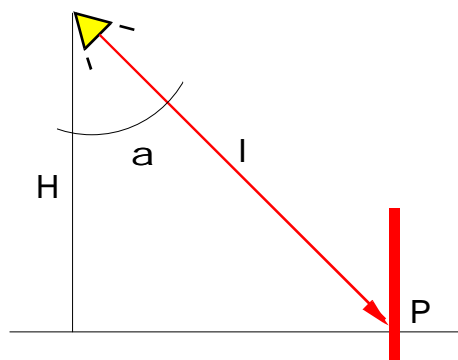
Para aplicar este método, se deberá conocer la forma en que la luminaria distribuye el flujo luminoso que emite la fuente de luz (“*Curva de distribución luminosa*”) y verificar que se cumpla la “*Ley de la inversa de los cuadrados*”.

Las fórmulas para el cálculo del nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal ó vertical, son básicamente las que se han visto al tratar la “*Ley del coseno*”.



En el plano horizontal

$$E_{ph} = \frac{I}{H^2} \times \cos^3 a$$



En el plano vertical

$$E_{pv} = \frac{I}{H^2} \times \cos^2 a \times \sin a$$

Donde:

E_{ph} = Nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en Lux)

E_{pv} = Nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (en lux)

I = Intensidad luminosa en una dirección dada (en candelas)

H = Altura de montaje de la luminaria normal al plano horizontal que contiene al punto

a = Angulo formado por el rayo de luz y la vertical que pasa por la luminaria

Métodos de Cálculo

Cálculo de iluminación de interiores:

El método de las cavidades Zonales

Existen varios métodos para calcular el nivel medio de iluminación en interiores (Método del flujo luminoso, Método del rendimiento de la luminaria y el Método de las cavidades zonales)

En este manual se explicará el método de cálculo de las Cavidades Zonales, por ser este el adoptado en La Argentina y para el cual diseñan los informes fotométricos de las luminarias los laboratorios nacionales.

Este método, como su nombre sugiere, divide al local en cavidades individuales: la cavidad cielorraso, la cavidad local y la cavidad piso. Esta forma de analizar por separado el comportamiento de los tres sectores más importantes del volumen total de un local a iluminar, confiere a los cálculos realizados por este método una mayor precisión.

A los efectos de esta publicación, se adopta una versión simplificada del método, es decir, se analizará solamente la cavidad local, ya que las dos restantes cavidades, en general no influye de manera tan significativa como para estudiar este método en profundidad.

Para calcular el nivel medio de iluminación que se registra en un determinado local (y esto es común a cualquier método que se utilice) se deberá aplicar la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{F_t \times cu \times fm}{S}$$

Donde:

E_m= Nivel medio de iluminación sobre el plano de trabajo (en Lux)

F_t= Flujo luminoso total instalado en el local (en Lúmenes)

cu= Coeficiente de utilización de la instalación

fm= Factor de mantenimiento ó depreciación de la instalación

S= Superficie total de local (m²)

A continuación se analizará cada uno de los elementos de la fórmula general no vistos hasta el momento.

Métodos de Cálculo

El Índice del Local (K1)

Para poder analizar el *Coeficiente de Utilización* del local, es necesario antes calcular el *Índice del Local*.

Dado que, como se verá en el próximo capítulo, el Coeficiente de Utilización de la instalación es el que permite conocer el comportamiento de una luminaria determinada en un *Local* determinado, lo primero que habrá que conocer son las características de dicho local.

En este punto es donde el método de las Cavidades Zonales difiere de otros métodos. Como se dijo en el capítulo anterior, a los efectos de determinar el coeficiente de utilización de la instalación solamente se considerará aquí el índice **K1** ó *índice local* (en el método completo, el índice *cielorraso* se denomina **K2** y el de *piso* **K3**)

El índice del local K1 se obtiene de la siguiente fórmula:

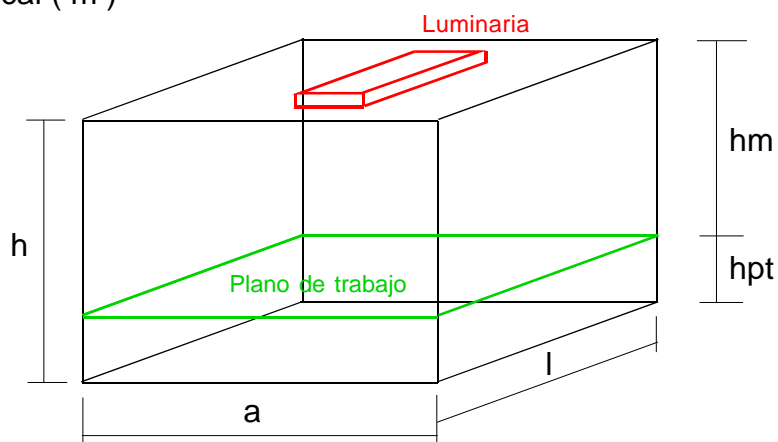
$$K1 = 5 \times hm \times \frac{a + l}{a \times l}$$

Donde:

hm= Altura de montaje de la luminaria sobre el plano de trabajo (m)

a= Ancho del local (m)

l= Largo del local (m)



El resultado de esta fórmula será un número entre 1 y 10, si bien existen casos de locales sumamente atípicos cuyo índice de local K1 podrá ser inferior a 1 y también superior a 10. Cuanto menor sea el número mayor será la superficie del local con respecto a su altura y viceversa. Los laboratorios Argentinos presentan sus estudios fotométricos tabulando los Índices de Local de 1 a 10. Las fotometrias de USA en cambio incluyen además el índice 0.

Métodos de Cálculo

El Factor de Mantenimiento:

Las condiciones de conservación ó mantenimiento de la instalación de iluminación, configuran un factor de gran incidencia en el resultado final de un proyecto de alumbrado y de hecho se incluye en la formula de cálculo (**fm**= *Factor de Mantenimiento*)

Todos los elementos que contribuyen a la obtención del nivel de iluminación deseado sobre el plano de trabajo, sufren con el tiempo un cierto grado de depreciación.

Las lámparas sufren pérdidas en el flujo luminoso emitido, ya sea por envejecimiento, acumulación de polvo sobre su superficie, efectos de la temperatura, etc. Las pantallas reflectoras y los louvers de las luminarias pierden eficiencia. Las paredes y cielorrasos se ensucian y disminuye su poder reflectante.

De todos estos factores, algunos son controlables por sistemas de mantenimiento y otros no lo son. La IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) considera, a los efectos de determinar el factor de mantenimiento de una instalación ocho factores: cuatro de ellos “*no controlables*” por sistemas de mantenimiento y cuatro “*controlables*”.

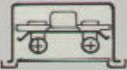

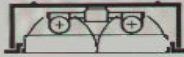
Calidad del mantenimiento	Factor de mantenimiento según el tipo de luminaria		
	 Con acrílico	 Tubos a la vista	 Louver parabólico
Bueno	0.70	0.70	0.75
Regular	0.65	0.60	0.70
Malo	0.60	0.50	0.65

Tabla orientativa de factores de mantenimiento según el tipo de luminaria y la calidad del mantenimiento

LOS NO CONTROLABLES SON: la temperatura ambiente, la variación de la tensión, el factor de balasto y la depreciación de la superficie de la luminaria.

LOS CONTROLABLES SON: la depreciación de las superficies del local por ensuciamiento, la depreciación por flujo luminoso de la lámpara, el reemplazo de las lámparas y la depreciación de la luminaria por ensuciamiento.

El análisis de cada uno de estos factores dará como resultado un valor que se desprende de tablas y curvas. Este valor podrá ser 1 si las condiciones son óptimas ó menor que 1 en la medida en que no lo sean. El producto de estos ocho factores dará como resultado el “*Factor de Mantenimiento*” de la instalación (**fm**)

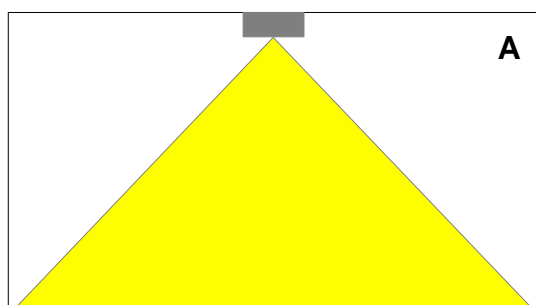
El procedimiento completo no se detallan aquí por lo extenso; no obstante el interesado podrá obtenerlo en el Manual del IESNA.

Métodos de Cálculo

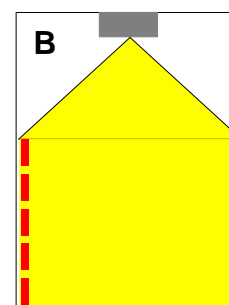
El Coeficiente de Utilización:

El *Coeficiente de Utilización* del local es el término que define el comportamiento que tendrá una luminaria en un local dado y su valor estará intimamente relacionado con el *Índice del Local*. También dependerá en gran medida del color y la textura de las paredes, sobre todo en locales pequeños.

El laboratorio de luminotecnica, como parte del protocolo de ensayo, entregará una tabla de *Coeficientes de Utilización* del modelo ensayado. Esa tabla estará construida a partir de la *Curva de Distribución Luminosa* y por consiguiente del *Rendimiento de la luminaria*. A igualdad de flujo luminoso instalado e igual superficie del local, una luminaria de alto rendimiento tendrá un coeficiente de utilización mayor (más cercano a 1) que una de bajo rendimiento.



A - Local grande
Poca absorción de paredes,
por lo tanto el rendimiento de
la luminaria es bueno y el
coeficiente de utilización
será alto.



B - Local pequeño
Gran absorción de paredes:
el rendimiento de la luminaria
es menor y el coeficiente de
utilización será bajo.

También se deberá tener en cuenta que una luminaria tendrá mayor coeficiente de utilización en un local de gran superficie en relación a su altura (Índice de Local cercano a 1) que otro de poca superficie en relación a su altura (Índice cercano a 10).

Tal como lo muestran los ejemplos, en un local amplio la luz que emite la luminaria es aprovechada en su totalidad, (*cu* alto) mientras que en el pequeño, al incidir la luz sobre las paredes se produce una absorción, mayor ó menor según el color y la textura de las superficies y la luminaria pierde parte de su rendimiento por esa razón (*cu* bajo). Esta situación se produce también cuando el local es exageradamente alto con respecto a la superficie.

REFLECTANCIA DE CAVIDAD																			
TECHO EN %																			
	80																		
REFLECTANCIA DE PARED EN %																			
	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30
INDICES DE LOCAL																			
COEFICIENTES DE UTILIZACION																			
1	0.58	0.56	0.53	0.51	0.56	0.54	0.52	0.50	0.52	0.50	0.49	0.50	0.48	0.47	0.48	0.47	0.46	0.47	0.46
2	0.53	0.49	0.45	0.42	0.52	0.48	0.45	0.42	0.46	0.43	0.41	0.45	0.42	0.40	0.43	0.41	0.39	0.43	0.39
3	0.49	0.44	0.40	0.36	0.48	0.43	0.39	0.36	0.41	0.38	0.35	0.40	0.37	0.35	0.38	0.36	0.34	0.38	0.34
4	0.45	0.39	0.35	0.32	0.44	0.38	0.35	0.31	0.37	0.34	0.31	0.36	0.33	0.30	0.35	0.32	0.30	0.35	0.32
5	0.42	0.35	0.31	0.27	0.41	0.35	0.30	0.27	0.33	0.30	0.27	0.31	0.29	0.27	0.31	0.29	0.26	0.31	0.26
6	0.39	0.32	0.27	0.24	0.38	0.31	0.27	0.24	0.30	0.27	0.24	0.30	0.26	0.24	0.29	0.26	0.23	0.29	0.23
7	0.36	0.29	0.25	0.22	0.35	0.29	0.25	0.22	0.28	0.24	0.21	0.27	0.24	0.21	0.27	0.23	0.21	0.27	0.21
8	0.34	0.27	0.22	0.20	0.33	0.27	0.22	0.20	0.25	0.22	0.19	0.25	0.21	0.19	0.24	0.21	0.19	0.24	0.19
9	0.31	0.24	0.20	0.17	0.31	0.24	0.20	0.16	0.23	0.20	0.17	0.23	0.19	0.17	0.22	0.19	0.17	0.22	0.17
10	0.29	0.22	0.18	0.16	0.29	0.22	0.14	0.14	0.22	0.18	0.16	0.21	0.18	0.15	0.21	0.18	0.15	0.21	0.15

Tabla de Coeficientes de Utilización tal como la emiten los laboratorios Argentinos.

Para hallar el *Coeficiente de Utilización* para un determinado local se deberá obtener en primer lugar el *Índice del Local* (por ejemplo: $K1 = 3$) con el $K1$, se eligen las *Reflectancias* de techo, paredes y piso que tendrá el local a iluminar (por ejemplo: techo 70%; paredes 50%. Para el piso las tablas asumen por defecto una reflectancia del 20%)

Buscando $K1 = 3$ en la columna de la izquierda titulada *Índice de Local* se recorre el renglón hasta encontrar la combinación de reflectancias elegida y se encontrará el correspondiente *Coeficiente de Utilización*; en este caso **0.43**

Apéndice

Datos útiles

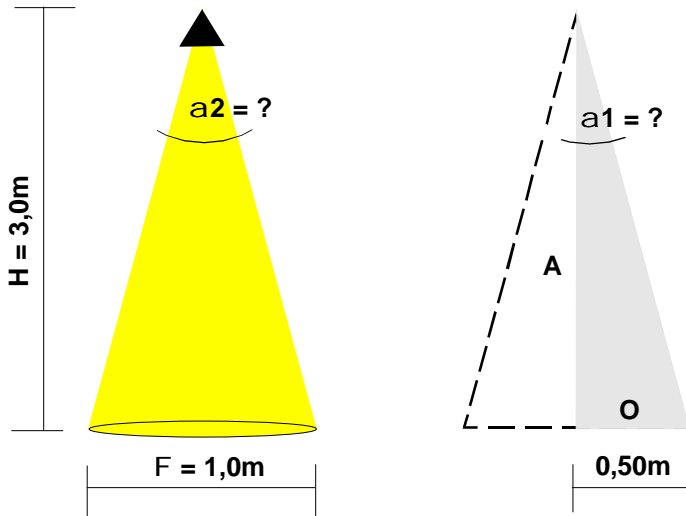
DE APLICACION EN LUMINOTECNIA

Datos útiles

DE APLICACION EN LUMINOTECNIA

1) Calcular el ángulo

Calcular que ángulo de apertura de haz deberá tener una fuente de luz puntual de simetría rotacional para iluminar un objeto determinado conociendo el diámetro del círculo que se desea obtener y la distancia de la fuente a dicho objeto.



En todo triángulo rectángulo, la tangente de un ángulo es igual al cateto opuesto dividido el cateto adyacente, es decir

$$\text{tg } a = O / A$$

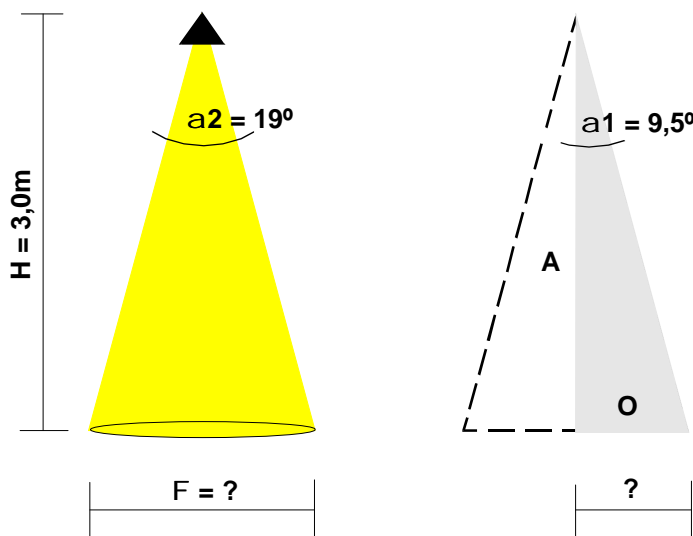
por lo tanto

$$\text{tg } a1 = 0,50 / 3,0\text{m} = 0,166$$

consultando la tabla de valores de las funciones trigonométricas se encontrará que la **tg = 0,166** corresponde a un ángulo de aproximadamente **9,5°**. Multiplicando por 2, se tendrá que el **ángulo de la fuente de luz deberá ser de a2 = 19°**

2) Calcular el círculo

Calcular el diámetro del círculo que describirá el haz de una fuente de luz puntual de simetría rotacional sobre un objeto determinado conociendo el ángulo del haz de dicha fuente y la distancia al objeto.



En todo triángulo rectángulo, el cateto opuesto es igual a la tangente del ángulo por el cateto adyacente, es decir

$$O = \text{tg } a1 \times A$$

consultando la tabla de valores de las funciones trigonométricas se encontrará que la **tg de 9,5°** es aproximadamente **0,166**, por lo tanto

$$O = 0,166 \times 3,0\text{m} = 0,498\text{m}$$

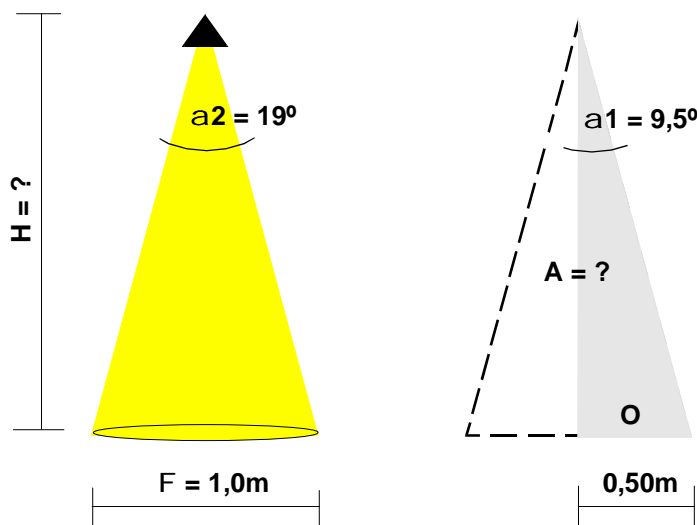
multiplicando por 2, se tendrá que el **diámetro del círculo del haz será de 0,498 x 2 = 0,996m**

Datos útiles

DE APLICACION EN LUMINOTECNIA

3) Calcular la distancia

Calcular a que distancia se deberá colocar una fuente de luz puntual de simetría rotacional para iluminar un objeto determinado, conociendo el ángulo de apertura del haz de dicha fuente y el diámetro del círculo que se desea obtener.



En todo triángulo rectángulo, el cateto adyacente es igual al cateto opuesto dividido la tangente del ángulo

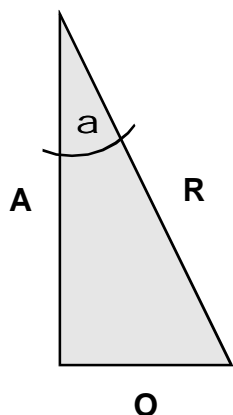
$$A = \frac{O}{\operatorname{tg} a_1}$$

consultando la tabla de valores de las funciones trigonométricas se encontrará que la **tg de 9,5°** es aproximadamente **0,166**, por lo tanto

$$A = \frac{0,50}{0,166} = 3,0\text{m}$$

La distancia al objeto deberá ser de 3,0m

Fórmulas Trigonómicas



$$\text{Seno } a = \frac{O}{R}$$

$$\text{Coseno } a = \frac{R}{O}$$

$$\text{Tangente } a = \frac{O}{R}$$

$$\text{Cotangente } a = \frac{R}{O}$$

$$\text{Secante } a = \frac{R}{O}$$

$$\text{Cosecante } a = \frac{O}{R}$$

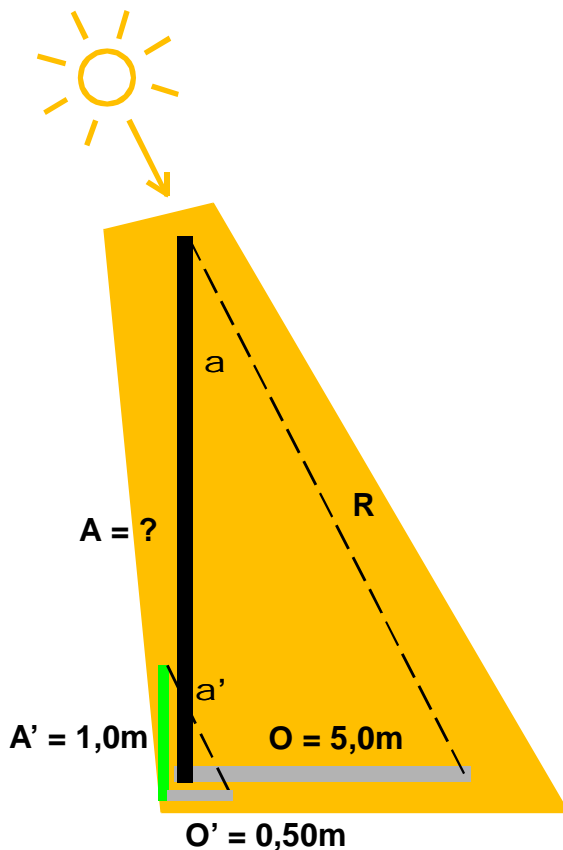
Datos útiles

DE APLICACION EN LUMINOTECNIA

Calcular la altura de una columna instalada

En la actividad luminotécnica, en más de una oportunidad se le presenta al profesional la necesidad de conocer la altura que tiene, por ejemplo, una columna de alumbrado. Por supuesto que “medir” in situ esa columna sería una tarea sumamente compleja y peligrosa sobre todo si se trata de 10 ó 15 metros.

Esto que parece imposible no lo es tanto. Solo será necesario contar con un día soleado y aplicar la geometría.



En el ejemplo, la columna **A** bajo el sol proyectará una sombra **O**. Al lado de la columna **A** se colocará algún elemento de **1,0m** de longitud, por ejemplo un metro de madera extendido que se llamará **A'**. Este elemento proyectará una sombra más corta que se llamará **O'**.

Dividiendo la longitud de la sombra larga (**O**) por la corta (**O'**) se obtendrá la altura de la columna.

$$\text{En el ejemplo } A = \frac{5,0\text{m}}{0,50\text{m}} = 10,0\text{m}$$

Nuestra columna mide 10,0 m de altura!

NOTA: Es conveniente que esta operación se realice cuando las sombras no son demasiado largas por razones de espacio.

Explicación: este sistema de medición se basa en el teorema de los *Triángulos semejantes*. Según este teorema, una de las posibilidades de que dos triángulos sean semejantes es que sus tres lados sean proporcionales. Este requisito se cumple en el ejemplo puesto que el ángulo de iluminación es el mismo para ambos parantes.

En el caso del la varilla de 1,0m, se puede determinar fácilmente la tangente del ángulo α' , ya que $\text{tg } \alpha' = O' / A' \text{ ó sea } 0,5 / 1 = 0,5$. Puesto que se trata de triángulos semejantes, $a = a'$ y por consiguiente $\text{tg } a = \text{tg } a'$. Ahora bien, si $A' = O' / \text{tg } a'$ y $A = O / \text{tg } a$,

$$A = 5 / 0,5 = 10,0 \text{ m}$$

Así será $O / O' = A$ ó más fácil... **la sombra larga / la sombra corta = altura de la columna!**

Datos útiles

DE APLICACION EN LUMINOTECNIA

Valores de las funciones trigonométricas empleadas en luminotecnia

α	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\tan \alpha$	$\cos^2 \alpha$	$\cos^3 \alpha$	$\cos^4 \alpha$	$\sin^2 \alpha$	$\sin^3 \alpha$	$\sin^4 \alpha$
1°	0,017	0,999	0,017	0,999	0,999	0,999	0,017	0,017	0,017
2°	0,035	0,998	0,035	0,998	0,998	0,998	0,035	0,035	0,035
3°	0,052	0,995	0,052	0,995	0,995	0,995	0,052	0,052	0,052
4°	0,070	0,997	0,070	0,997	0,997	0,997	0,070	0,070	0,070
5°	0,087	0,996	0,087	0,996	0,996	0,996	0,087	0,087	0,087
6°	0,105	0,994	0,105	0,994	0,994	0,994	0,103	0,103	0,103
7°	0,122	0,993	0,123	0,993	0,993	0,993	0,120	0,120	0,120
8°	0,139	0,990	0,140	0,991	0,991	0,991	0,137	0,137	0,137
9°	0,156	0,988	0,158	0,988	0,988	0,988	0,153	0,153	0,153
10°	0,174	0,985	0,176	0,985	0,985	0,985	0,168	0,168	0,168
11°	0,191	0,982	0,194	0,984	0,984	0,984	0,184	0,184	0,184
12°	0,208	0,978	0,212	0,987	0,987	0,987	0,199	0,199	0,199
13°	0,225	0,974	0,231	0,990	0,990	0,990	0,214	0,214	0,214
14°	0,242	0,970	0,249	0,994	0,994	0,994	0,228	0,228	0,228
15°	0,259	0,966	0,268	0,993	0,993	0,993	0,241	0,241	0,241
16°	0,276	0,961	0,287	0,992	0,992	0,992	0,255	0,255	0,255
17°	0,292	0,956	0,306	0,995	0,995	0,995	0,267	0,267	0,267
18°	0,309	0,951	0,325	0,995	0,995	0,995	0,280	0,280	0,280
19°	0,326	0,946	0,344	0,994	0,994	0,994	0,291	0,291	0,291
20°	0,342	0,940	0,364	0,993	0,993	0,993	0,302	0,302	0,302
21°	0,358	0,934	0,384	0,992	0,992	0,992	0,312	0,312	0,312
22°	0,375	0,927	0,404	0,991	0,991	0,991	0,322	0,322	0,322
23°	0,391	0,921	0,424	0,990	0,990	0,990	0,331	0,331	0,331
24°	0,407	0,914	0,445	0,989	0,989	0,989	0,340	0,340	0,340
25°	0,423	0,906	0,466	0,988	0,988	0,988	0,347	0,347	0,347
26°	0,438	0,899	0,488	0,987	0,987	0,987	0,354	0,354	0,354
27°	0,454	0,891	0,510	0,986	0,986	0,986	0,361	0,361	0,361
28°	0,469	0,883	0,532	0,985	0,985	0,985	0,368	0,368	0,368
29°	0,485	0,875	0,554	0,984	0,984	0,984	0,371	0,371	0,371
30°	0,500	0,866	0,577	0,983	0,983	0,983	0,375	0,375	0,375
31°	0,515	0,857	0,601	0,982	0,982	0,982	0,378	0,378	0,378
32°	0,530	0,848	0,625	0,981	0,981	0,981	0,381	0,381	0,381
33°	0,545	0,839	0,649	0,980	0,980	0,980	0,384	0,384	0,384
34°	0,559	0,829	0,675	0,979	0,979	0,979	0,385	0,385	0,385
35°	0,574	0,819	0,700	0,978	0,978	0,978	0,385	0,385	0,385
36°	0,588	0,809	0,727	0,977	0,977	0,977	0,385	0,385	0,385
37°	0,602	0,799	0,754	0,976	0,976	0,976	0,385	0,385	0,385
38°	0,616	0,788	0,781	0,975	0,975	0,975	0,385	0,385	0,385
39°	0,629	0,777	0,810	0,974	0,974	0,974	0,385	0,385	0,385
40°	0,643	0,766	0,839	0,973	0,973	0,973	0,385	0,385	0,385
41°	0,656	0,755	0,869	0,972	0,972	0,972	0,385	0,385	0,385
42°	0,669	0,743	0,900	0,971	0,971	0,971	0,385	0,385	0,385
43°	0,682	0,731	0,933	0,970	0,970	0,970	0,385	0,385	0,385
44°	0,695	0,719	0,966	0,969	0,969	0,969	0,385	0,385	0,385

Datos útiles

DE APLICACION EN LUMINOTECNIA

Factores de reflexión de algunos colores

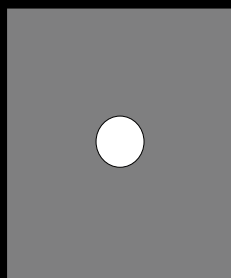
MODO DE USAR:

La presente plantilla está confeccionada sobre la base de cinco de los colores más frecuentes en pintura de paredes y cielorrasos.

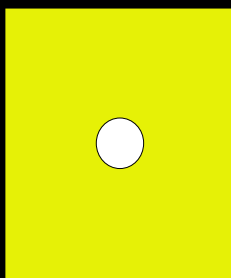
La plantilla se colocará sobre la superficie de la cual se desea saber el poder reflectante. A través de los orificios se buscará el color de las muestras que más se parezca a dicha superficie. El número que se encuentra debajo del mismo es el porcentaje de reflectancia que posee esa superficie.

Si el tono de la pintura no coincide exactamente con alguna de las muestras de la plantilla se tomará un promedio entre los dos tonos más próximos.

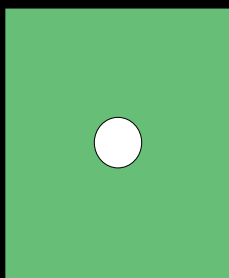
Factores de reflexión de algunos colores



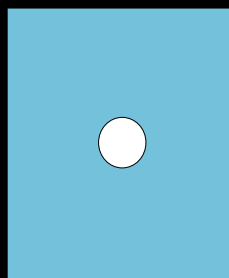
20



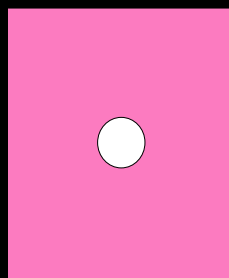
48



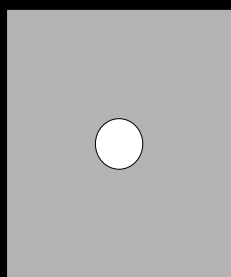
26



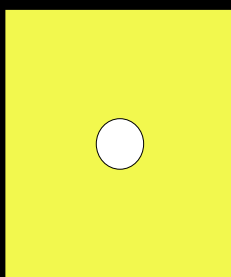
28



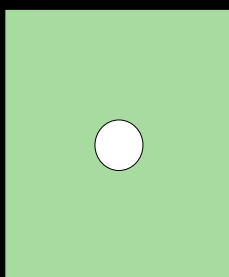
32



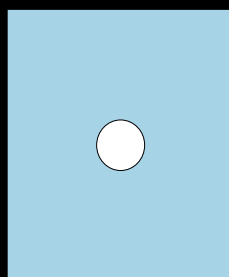
34



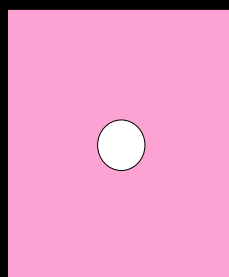
52



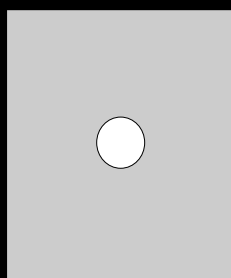
36



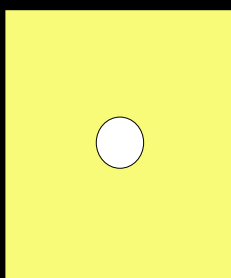
40



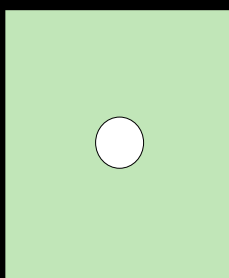
48



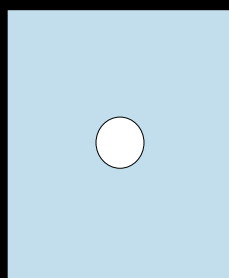
42



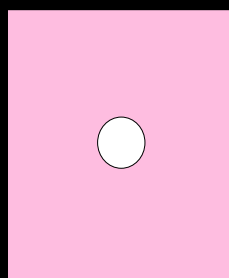
60



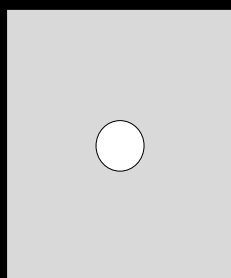
44



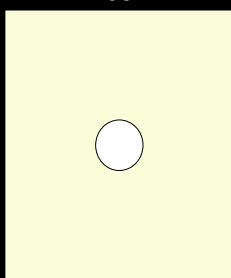
50



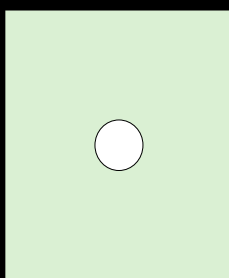
56



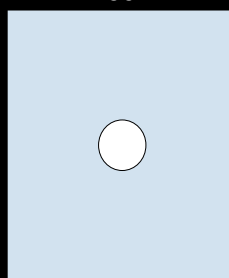
52



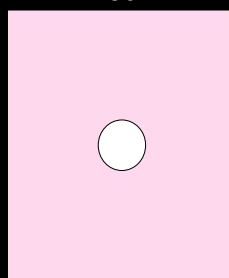
68



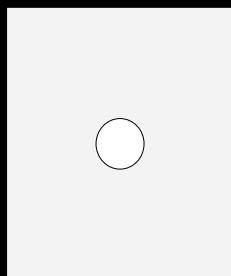
66



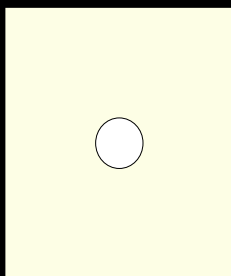
62



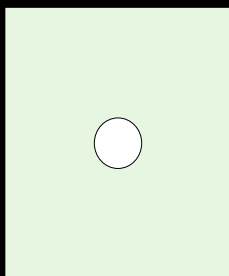
66



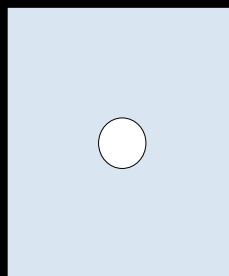
66



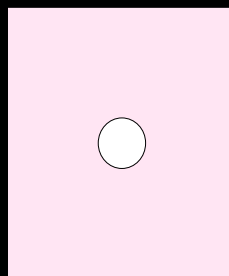
70



72



68



74