

# Física Aplicada a la Arquitectura

## Unidad 6-c: Luminotecnia

### MAGNITUDES Y UNIDADES DE MEDIDA

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los rayos gamma es una forma de energía. La energía se mide en Joules (J) en el Sistema Internacional, pero esto no es suficiente ni adecuado. La razón de ello es que no toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una bombilla se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello se necesitan definir nuevas magnitudes.

### FLUJO LUMINOSO

Para hacernos una primera idea consideraremos dos bombillas, una de 25 W y otra de 60 W. Está claro que la de 60 W dará una luz más intensa. Pues bien, esta es la idea: ¿cuál ilumina más? o dicho de otra forma ¿cuánto ilumina cada bombilla?



Cuando hablamos de 25 W o 60 W nos referimos sólo a la **potencia eléctrica consumida** por la bombilla de la cual solo una parte se convierte en luz visible. Esa fracción de potencia es el llamado **flujo luminoso**. Podríamos medirlo en watts [W], pero es más sencillo definir una nueva unidad, el **lumen**, que tome como referencia la radiación visible. Empíricamente se demuestra que a una radiación de 555 nm de 1 W de potencia emitida por un cuerpo negro es del orden de 683 lm.

**Se define el flujo luminoso como la potencia [W] emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible.**

**Su símbolo es  $\phi$  y su unidad es el lumen [lm].**

A la relación entre watts y lúmenes se le llama **equivalente luminoso de la energía** y equivale a:

$$1 \text{ watt-luz (a 555 nm)} = 683 \text{ lm}$$

<b>Flujo luminoso</b>	Símbolo: $\phi$
	Unidad: lumen [lm]

## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

Una fuente de luz roja monocromática (600 nm) produce una potencia radiante visible de 4 W. ¿Cuál es el flujo luminoso en lúmenes?

**Plan:** El flujo luminoso puede estimarse por medio del estudio de la curva de luminosidad. Sabemos que la curva alcanza su punto máximo a 680 lúmenes por watt para la luz verde-amarilla (555 nm). El porcentaje del descenso de la intensidad relativa para la luz roja puede estimarse a partir de la curva de luminosidad (véase la figura 33.13) y usarse para calcular el flujo luminoso.

**Solución:** Si la luz fuera verde-amarilla (555 nm) en vez de roja, tendría un flujo luminoso  $F$  dado por

$$F = (680 \text{ lm/W})(4 \text{ W}) = 2720 \text{ lm}$$

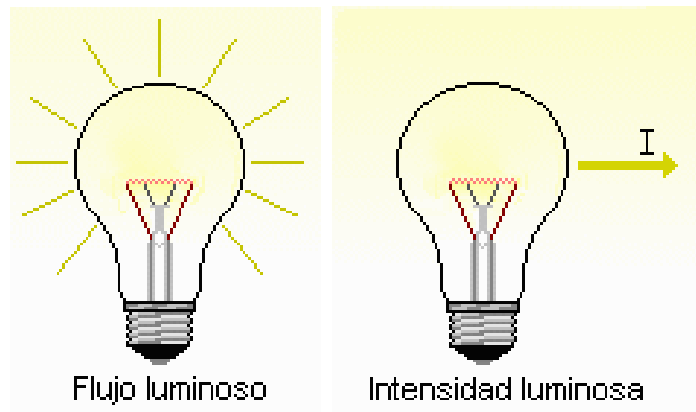
A partir de la curva de sensibilidad, la luz roja tiene una longitud de onda de 600 nm y produce aproximadamente el 59 por ciento de la respuesta obtenida con la luz verde-amarilla. Así pues, el flujo luminoso que emana de la fuente de luz roja es

$$F = (0.59)(2720 \text{ lm}) = 1600 \text{ lm}$$

El flujo luminoso con frecuencia se calcula en el laboratorio determinando la iluminación que produce sobre un área de superficie conocida.

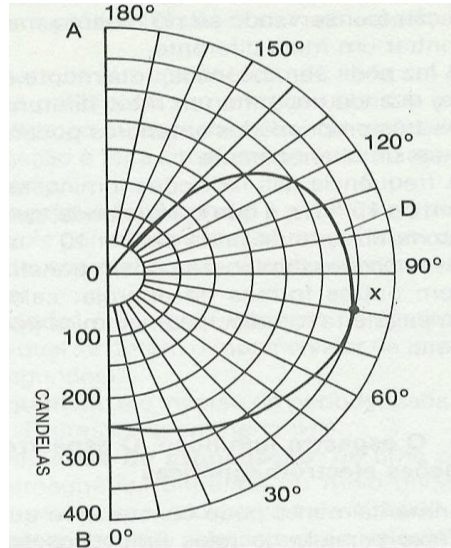
### INTENSIDAD LUMINOSA

El **flujo luminoso** nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo, una bombilla, en todas las direcciones del espacio. Por contra, si pensamos en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa.



Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

Física Aplicada a la Arquitectura  
 Unidad 6-c: Luminotecnia



Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta.

Su símbolo es I y su unidad la candela [cd].

<b>Intensidad luminosa</b> $I = \frac{\Phi}{\Omega}$	Símbolo: I
	Unidad: candela [cd]

**Ángulo sólido**

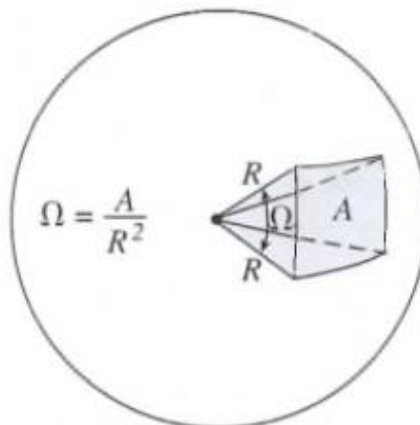
El ángulo sólido es el ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado, que se corresponde con la zona del espacio limitada por las rectas proyectantes desde el objeto hacia el observador.

Por ejemplo, si la proyección cónica del objeto tiene forma circular, el ángulo espacial corresponde al ángulo sólido de un cono. Si la proyección cónica es un cuadrado el ángulo sólido es el ángulo espacial de una pirámide cuyo vértice es el observador.

La unidad del ángulo sólido en el SI es el estereorradián, cuyo símbolo es sr. Es una magnitud adimensional que se representa con la letra griega  $\Omega$ .

Para calcular el ángulo sólido bajo el cual se ve un objeto desde un punto, se proyecta el objeto sobre una esfera de radio R conocido, centrada en el punto de vista. Si la superficie de la proyección del objeto sobre la esfera es SS, el ángulo sólido bajo el cual se ve el objeto es, por definición:

$$\Omega = \frac{A}{R^2}$$



## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

¿Qué ángulo sólido se subtende en el centro de una esfera de 8 m de diámetro por medio de un área de 1.5 m<sup>2</sup> sobre su superficie?

**Solución:** De la ecuación (33.6) queda

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{1.5 \text{ m}^2}{(4 \text{ m})^2}; \quad \Omega = 0.0938 \text{ sr}$$

Un proyector de luz está equipado con una lámpara de 40 cd que concentra un haz de luz sobre una pared vertical. El haz cubre un área de 9 m<sup>2</sup> de la pared, y el proyector está situado a 20 m de dicha pared. Calcule la intensidad luminosa del proyector.

**Plan:** Primero calcularemos el flujo total  $F$  que sale de una fuente isotrópica, suponiendo que el haz de luz no está concentrado en lo absoluto. Luego supondremos que todo este flujo se concentra en el ángulo sólido subtendido por el área de 9 m<sup>2</sup> sobre la pared. La intensidad  $I$  será el flujo para ese ángulo sólido.

**Solución:** El flujo total emitido por la lámpara de 40 cd se calcula a partir de la ecuación (33.7).

$$F = 4\pi I = (4\pi)(40 \text{ cd}) = 160\pi \text{ lm}$$

Este flujo total se concentra por medio de reflectores y lentes en un ángulo sólido determinado por

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{9 \text{ m}^2}{(20 \text{ m})^2} = 0.0225 \text{ sr}$$

La intensidad del haz se encuentra a partir de la ecuación (33.7).

$$I = \frac{F}{\Omega} = \frac{160 \pi \text{ lm}}{0.0225 \text{ sr}} = 2.23 \times 10^4 \text{ cd}$$

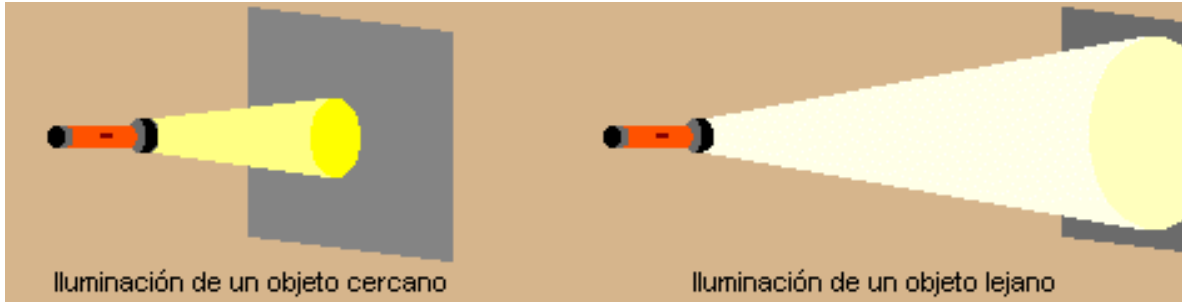
Observe que las unidades de intensidad (cd) y las unidades de flujo (lm) son iguales desde el punto de vista dimensional. Esto es cierto debido a que el ángulo sólido en estereorradianes es adimensional.

### ILUMINANCIA

Quizás haya jugado alguna vez a iluminar con una linterna objetos situados a diferentes distancias. Si se pone la mano delante de la linterna podemos ver está fuertemente iluminada por un círculo pequeño y si se ilumina una pared lejana el círculo es grande y la luz débil.

Esta sencilla experiencia recoge muy bien el concepto de iluminancia.

Física Aplicada a la Arquitectura  
 Unidad 6-c: Luminotecnia



Concepto de iluminancia.

Se define a la iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie.

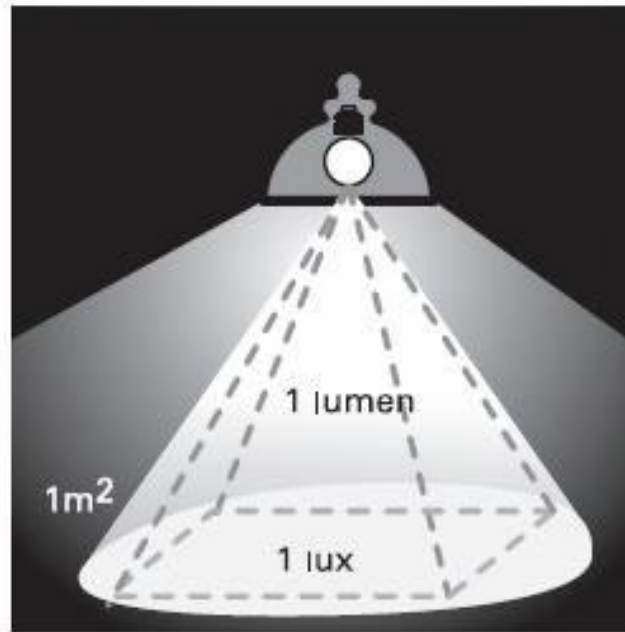
Su símbolo es  $E$  y su unidad de medida es el lux (lx) que es igual a  $[lm/m^2]$ .

<b>Iluminancia</b> $E = \frac{\Phi}{A}$	Símbolo: $E$	$\text{lux} = \frac{\text{lumen}}{\text{m}^2}$
	Unidad: lux [lx]	

En el ejemplo de la linterna ya pudimos ver que la iluminancia depende de la distancia del foco al objeto iluminado. Es algo similar a lo que ocurre cuando oímos alejarse a un coche; al principio se oye alto y claro, pero después va disminuyendo hasta perderse. Lo que ocurre con la iluminancia se conoce por la **ley inversa de los cuadrados** que relaciona la **intensidad luminosa**  $[I]$  y la distancia a la fuente  $[r]$ . Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

Ley inversa de los cuadrados  $E = \frac{I}{r^2}$		$\text{Iluminancia} = \frac{\text{Intensidad luminosa}}{\text{Cuadrado distancia}}$
---	--	---

Física Aplicada a la Arquitectura  
 Unidad 6-c: Luminotecnia

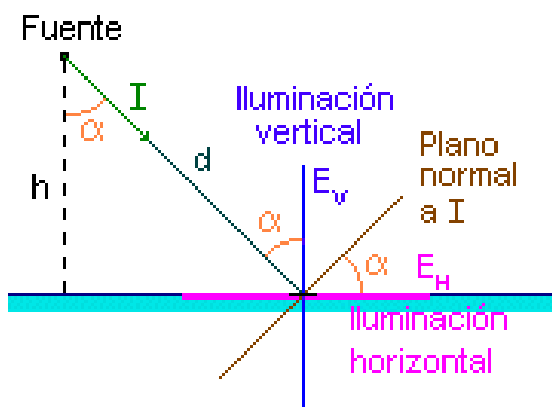


Una lámpara incandescente de 100 W tiene una intensidad luminosa de 125 cd ¿Cuál es la iluminación de una superficie situada a 3 ft abajo de la lámpara?

**Solución:** Sustituyendo directamente en la ecuación (33.12), obtenemos

$$E = \frac{I}{R^2} = \frac{125 \text{ cd}}{(3 \text{ ft})^2} = 13.9 \text{ lm/ft}^2$$

¿Qué ocurre si el rayo no es perpendicular? En este caso hay que descomponer la iluminación recibida en una componente horizontal y en otra vertical a la superficie.



$$E_H = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \sin \alpha}{d^2} = E_H \cdot \tan \alpha$$

A la componente horizontal de la iluminancia ( $E_H$ ) se le conoce como la **ley del coseno**.

Es fácil ver que si  $\alpha = 0$  nos queda la ley inversa de los cuadrados.

Si expresamos  $E_H$  y  $E_v$  en función de la distancia de la fuente a la superficie ( $h$ ) nos queda:



Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}$$
$$E_V = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}$$
$$E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot \sin \alpha_i}{h_i^2}$$

Una lámpara de filamento de tungsteno cuya intensidad es de 300 cd está situada a 2.0 m de una superficie de 0.25 m<sup>2</sup> de área. El flujo luminoso forma un ángulo de 30° con la normal a la superficie. (a) ¿Cuál es la iluminación? (b) ¿Cuál es el flujo luminoso que choca contra la superficie?

**Plan:** Observe la figura 33.17 y note que la iluminación disminuye con el cuadrado de la distancia. Al multiplicar por el coseno del ángulo dado, tendremos el área efectiva penetrada por el flujo. Podemos entonces calcular la iluminación y el flujo.

**Solución (a):** La iluminación se determina directamente a partir de la ecuación (33.11).

$$E = \frac{I \cos \theta}{R^2} = \frac{(300 \text{ cd})(\cos 30^\circ)}{(2 \text{ m})^2} = 65 \text{ lx}$$

**Solución (b):** El flujo que incide en la superficie se calcula despejando  $F$  de la ecuación (33.9). De modo que

$$F = EA = (65 \text{ lx})(0.25 \text{ m}^2) \\ = 16.2 \text{ lm}$$

## LUMINANCIA

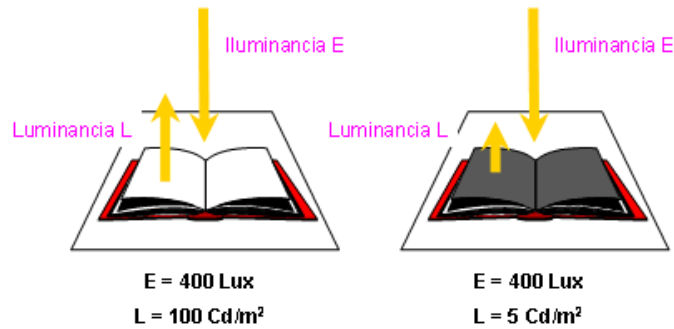
Hasta ahora hemos hablado de magnitudes que informan sobre propiedades de las fuentes de luz (flujo luminoso o intensidad luminosa) o sobre la luz que llega a una superficie (iluminancia). Pero no hemos dicho nada de la luz que llega al ojo que a fin de cuentas es la que vemos. De esto trata la luminancia. Tanto en el caso que veamos un foco luminoso como en el que veamos luz reflejada procedente de un cuerpo la definición es la misma.

Se llama **luminancia** a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es  $L$  y su unidad es la [cd/m<sup>2</sup>].

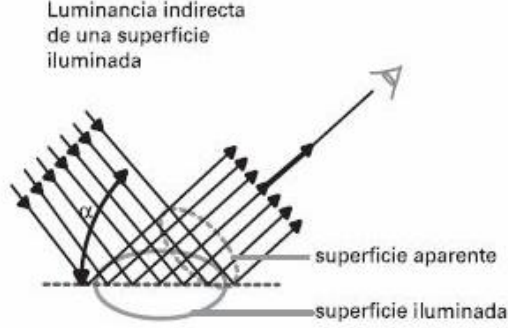
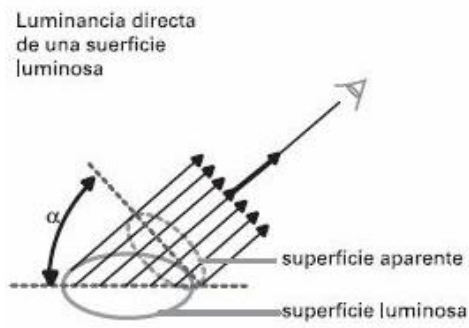
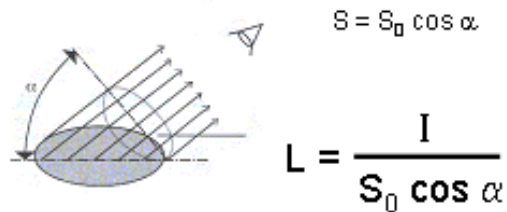
Física Aplicada a la Arquitectura  
 Unidad 6-c: Luminotecnia

<b>Luminancia</b>	<b>Símbolo: L</b>
$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$	<b>Unidad: [cd/m<sup>2</sup>]</b>

Es importante destacar que sólo vemos luminancias, no iluminancias.

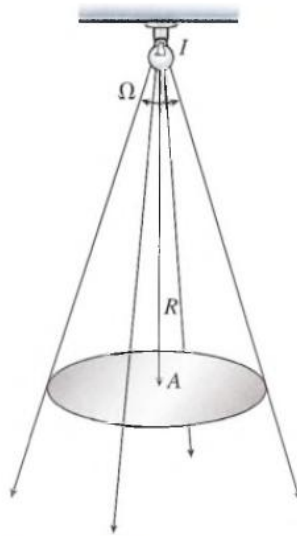
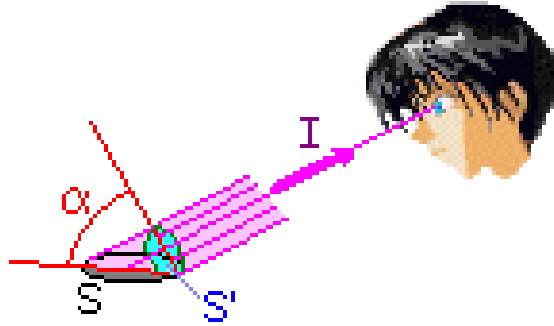


Cuando la superficie considerada  $S_0$  no es perpendicular a la dirección de la luz, habrá que considerar la superficie que resulta de proyectar  $S_0$  sobre la perpendicular.

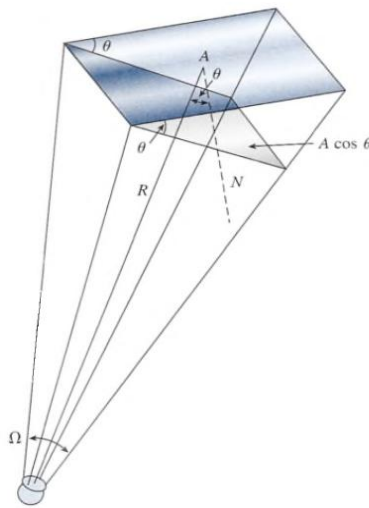




Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia



Cálculo de la iluminación de una superficie perpendicular al flujo luminoso incidente.



Cuando la superficie forma un ángulo  $\theta$  con el flujo luminoso incidente, la iluminación  $E$  es proporcional a la componente  $A \cos(\theta)$  de la superficie perpendicular al flujo luminoso.

## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

La fórmula mostrada anteriormente supone que la superficie sobre la cual se produce la reflexión es reflectora perfecta, es decir, toda la luz que incide sobre ella se refleja. La capacidad de reflexión de una superficie viene dada por el coeficiente o factor de reflexión  $\rho$ . Si la superficie refleja toda la luz que la llega  $\rho = 1$  (reflector perfecto). Si la superficie refleja solo parte de la luz que llega a ella,  $\rho < 1$ .

En estas condiciones la fórmula para calcular L será:

$$L = \frac{\rho I}{S_{aparente}} = \frac{\rho I}{S \cos \alpha} = \left[ \frac{cd}{m^2} \right]$$

### RENDIMIENTO O EFICIENCIA LUMINOSOS

Ya mencionamos al hablar del flujo luminoso que no toda la energía eléctrica consumida por una lámpara (bombilla, fluorescente, etc.) se transformaba en luz visible. Parte se pierde por calor, parte en forma de radiación no visible (infrarrojo o ultravioleta), etc.



Para hacernos una idea de la porción de energía útil definimos el **rendimiento luminoso** como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas (25 W, 60 W, etc).

Mientras mayor sea  $\eta$  mejor será la calidad de la lámpara. Esto implica que para la misma potencia eléctrica consumida producirá más cantidad de luz. La unidad es el lumen por watt [lm/W].

<b>Rendimiento luminoso</b>	Símbolo: $\eta$
$\eta = \frac{\phi}{W}$	Unidad: [lm/W]

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Flujo luminosos}}{\text{Potencia consumida}}$$

# Física Aplicada a la Arquitectura

## Unidad 6-c: Luminotecnia

### CANTIDAD DE LUZ

Esta magnitud sólo tiene importancia para conocer el flujo luminoso que es capaz de dar un flash fotográfico o para comparar diferentes lámparas según la luz que emiten durante un cierto periodo de tiempo.

Su símbolo es  $Q$  y su unidad es el lumen por segundo [lm s)].

<b>Cantidad de luz</b> $Q = \phi t$	<b>Símbolo: <math>Q</math></b>
<b>Unidad: [lm s]</b>	

### Resumen de fórmulas

Magnitud	Fórmula	Unidad
Flujo luminoso	$\Phi$	Lumen
Eficiencia Lumiosa	$\rho = \Phi/W$	Lumen/watio
Iluminancia (nivel de iluminación)	$E = \Phi/S$	Lumen / m <sup>2</sup> = Lux
Intensidad luminosa	$I = \Phi/\omega$	Candela
Luminancia	$L = I/S$	Candela / m <sup>2</sup>



Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia  
**EJERCITACIÓN**

**Problemas resueltos**

1- ¿Qué ángulo sólido se subtende desde el centro de una esfera con un radio  $R = 5 \text{ m}$  y una superficie de área  $A = 1,6 \text{ m}^2$ ?

Solución

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{1,6 \text{ m}^2}{(5\text{m})^2} = 0,0064 \text{ sr}$$

2- Un proyector de  $I = 30 \text{ cd}$  se ubica a  $h = 3 \text{ m}$  por arriba de una mesa. El haz se enfoca sobre un área de  $A = 0,4 \text{ m}^2$ . Encuentre la intensidad del haz.

Solución

Primero calcularemos el flujo total  $\phi$  que sale de una fuente isotrópica, suponiendo que el haz de luz no está concentrado en lo absoluto.

$$\phi = 4\pi I = 4\pi(30 \text{ cd}) = 377 \text{ lm}$$

Luego supondremos que todo este flujo se concentra en el ángulo sólido subtendido por el área de A sobre la pared.

La intensidad luminosa del haz depende de  $\Omega$ .

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{0,4 \text{ m}^2}{(3 \text{ m})^2} = 0,0444 \text{ sr}$$

La intensidad  $I$  será el flujo para ese ángulo sólido.

$$I = \frac{\phi}{\Omega} = \frac{377 \text{ lm}}{0,0444 \text{ sr}} = 8490 \text{ cd}$$

3- Un proyector de luz está equipado con una lámpara de 40 cd de intensidad que concentra un haz de luz sobre una pared vertical. El haz cubre un área de  $9 \text{ m}^2$  de la pared, y el proyector está situado a 20 m de dicha pared. Calcule la intensidad luminosa del proyector.

Solución

Primero calcularemos el flujo total  $\phi$  que sale de una fuente isotrópica, suponiendo que el haz de luz no está concentrado en lo absoluto. Luego supondremos que todo este flujo se concentra en el ángulo sólido subtendido por el área de  $9 \text{ m}^2$  sobre la pared. La intensidad  $I$  será el flujo para ese ángulo sólido.

El flujo total emitido por la lámpara de  $I = 40 \text{ cd}$  se calcula a partir de la ecuación.

$$\phi = 4\pi I = (4 \pi) (40 \text{ cd}) = 160 \pi \text{ lm}$$

Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia

Este flujo total se concentra por medio de reflectores y lentes en un ángulo sólido determinado

Por:

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{9 \text{ m}^2}{(20 \text{ m})^2} = 0,0225 \text{ sr}$$

$$I = \frac{\phi}{\Omega} = \frac{160 \pi \text{ lm}}{0,0225 \text{ sr}} = 2,23 \cdot 10^4 \text{ cd}$$

Observe que las unidades de intensidad (cd) y las unidades de flujo (lm) son iguales desde el punto de vista dimensional. Esto es cierto debido a que el ángulo sólido en estereorradianes es adimensional.

4- Una luz de 400 cd de intensidad se ubica a 2,4 m de una mesa de 1,2 m<sup>2</sup> de área. ¿Cuál es la iluminación y cuál el flujo  $\phi$  que cae sobre la mesa?

Solución

$$E = \frac{I}{R^2} = \frac{400 \text{ cd}}{(2,4 \text{ m})^2} = 69,4 \text{ lx}$$

Y como:  $E = \frac{\phi}{A}$ ; entonces se tiene.

$$\phi = E A = 69,4 \text{ lx} \cdot 1,2 \text{ m}^2 = 93,3 \text{ lm}$$

5- Una lámpara incandescente de 100 W de potencia tiene una intensidad luminosa de 125 cd. ¿Cuál es la iluminación de una superficie situada a 0,9 m abajo de la lámpara?

$$E = \frac{I}{R^2} = \frac{125 \text{ cd}}{(0,9 \text{ m})^2} = 154,32 \text{ lx}$$

6- Una lámpara de filamento de tungsteno cuya intensidad es de 300 cd está situada a 2,0 m de una superficie de 0,25 m<sup>2</sup> de área. El flujo luminoso forma un ángulo de 30° con la normal

a la superficie. a) ¿Cuál es la iluminación? b) ¿Cuál es el flujo luminoso que choca contra la superficie?

Note que la iluminación disminuye con el cuadrado de la distancia. Al multiplicar por el coseno del ángulo dado, tendremos el área efectiva penetrada por el flujo. Podemos entonces calcular la iluminación y el flujo.

Solución (a): La iluminación se determina directamente a partir de la ecuación.

$$E = \frac{I \cos(\theta)}{R^2} = \frac{300 \text{ cd} \cos(30^\circ)}{(2 \text{ m})^2} = 65 \text{ lx}$$

## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

Solución (b): El flujo que incide en la superficie se calcula despejando  $\phi$ :  
De modo que:

$$\phi = E A = (65 \text{ lx})(0,25 \text{ m}^2) = 16,2 \text{ lm}$$

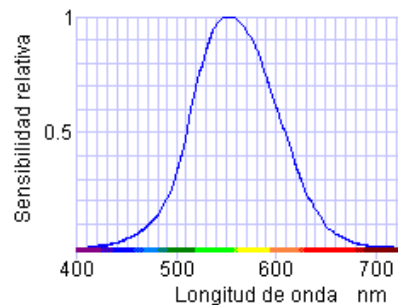
7- Una fuente de luz roja monocromática ( $\lambda = 600 \text{ nm}$ ) produce una potencia radiante visible de 4 W ¿Cuál es el flujo luminoso en lúmenes?

Solución

El flujo luminoso puede estimarse por medio del estudio de la curva de luminosidad. Sabemos que la curva alcanza su punto máximo a 680 lúmenes por watt para la luz verde-amarilla (555 nm). El porcentaje del descenso de la intensidad relativa para la luz roja puede estimarse a partir de la curva de luminosidad y usarse para calcular el flujo luminoso. Si la luz fuera verde-amarilla (555 nm) en vez de roja, tendría un flujo luminoso  $\phi$  dado por:

$$\phi = (680 \text{ lm/W})(4 \text{ W}) = 2720 \text{ lm}$$

A partir de la curva de sensibilidad, la luz roja tiene una longitud de onda de 600 nm y produce aproximadamente el 59 % de la intensidad obtenida con la luz verde - amarilla.



Así pues, el flujo luminoso que emana de la fuente de luz roja es:

$$\phi = (0,59)(2720 \text{ lm}) = 1600 \text{ lm}$$

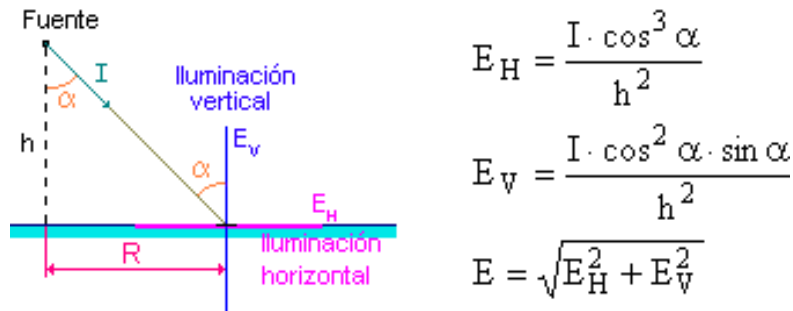
El flujo luminoso con frecuencia se calcula en el laboratorio determinando la iluminación que produce sobre un área de superficie conocida.

8- Una superficie está iluminada por una fuente luminosa puntual de 80 cd de intensidad constante en todas direcciones situada a 2 m de altura. Calcular la iluminancia horizontal y vertical para los siguientes valores del ángulo  $\alpha$ : 0, 30°, 45°, 60°, 75° y 80°.

Solución

Como vimos al hablar de magnitudes fotométricas, las componentes de la iluminancia, se pueden calcular empleando las fórmulas:

Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia



Y dado que conocemos todos los datos ( $h = 2 \text{ m}$ ,  $I = 80 \text{ cd}$  y los diferentes valores de  $\alpha$ ) solo queda sustituir y calcular:

$$\alpha = 0^\circ \quad E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{80 \cdot \cos^3 0}{2^2} = 20 \text{ lx}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2} = \frac{80 \cdot \cos^2 0 \cdot \sin 0}{2^2} = 0$$

$$E = \sqrt{E_H^2 + E_v^2} = E_H = 20 \text{ lx}$$
  

$$\alpha = 30^\circ \quad E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{80 \cdot \cos^3 30}{2^2} = 12.99 \text{ lx}$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2} = \frac{80 \cdot \cos^2 30 \cdot \sin 30}{2^2} = 7.5 \text{ lx}$$

$$E = \sqrt{E_H^2 + E_v^2} = 15 \text{ lx}$$

Como podemos ver, la mecánica de cálculo es siempre la misma.

Así pues, los **resultados** finales son:

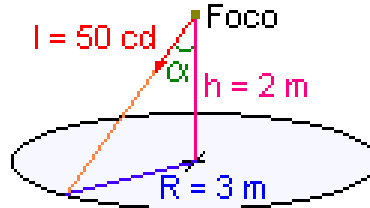
$\alpha$	$R \text{ (m)}$	$E_H \text{ (lux)}$	$E_v \text{ (lux)}$	$E \text{ (lux)}$
$0^\circ$	0	20	0	20
$30^\circ$	1,15	12.99	7,5	15
$45^\circ$	2	7.07	7,07	10
$60^\circ$	3,46	2,5	4,33	5
$75^\circ$	7,45	0,35	1,29	1,34
$80^\circ$	11	0,10	0,59	0,60

9- Una superficie circular de  $R = 3 \text{ m}$  de radio está iluminada por una bombilla de  $I = 50 \text{ cd}$  de intensidad constante en todas direcciones situada a  $h = 2 \text{ m}$  de altura sobre el centro de la plataforma. Calcular la iluminación máxima y mínima sobre la superficie.



Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia

Solución



En este caso nos piden la iluminancia sobre la superficie, es decir, la iluminancia horizontal. Como la intensidad es constante en todas direcciones y la altura también el valor de la iluminancia dependerá únicamente de la distancia de los puntos al foco. En nuestro caso el punto más próximo es la proyección de la bombilla sobre la superficie ( $\alpha = 0^\circ$ ) y los más alejados son aquellos que están en los bordes ( $R = 3 \text{ m}$ ).

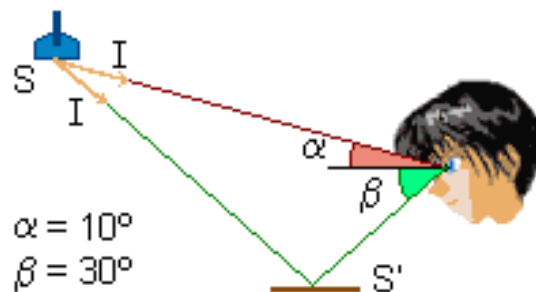
Iluminancia máxima ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$\alpha = 0^\circ \quad E_{\max} = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{50 \cdot \cos^3 0}{2^2} = 12.5 \text{ lx}$$

Iluminancia mínima ( $R = 3 \text{ m}$ )

$$\tan \alpha = \frac{d}{h} = \frac{3}{2}; \quad \alpha = 56.31^\circ \quad E_{\min} = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} = \frac{50 \cdot \cos^3 56.31}{2^2} = 2.13 \text{ lx}$$

10- Tenemos un proyector situado en el techo de  $0,04 \text{ m}^2$  de superficie que ilumina con una intensidad de  $100 \text{ cd}$  en cualquier dirección una mesa de  $0,5 \text{ m}^2$  de superficie. La mesa se puede considerar una superficie especular de factor de reflexión de  $\rho = 0,8$ . Calcular la luminancia de la fuente y la luminancia de la mesa para el observador de la figura.



Solución

Luminancia de la fuente

$$L = \frac{I}{\text{Superficie aparente}} = \frac{I}{S \sin \alpha} = \frac{100}{0.04 \sin 10} = 14397 \text{ cd/m}^2$$

Luminancia de la mesa

## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

Como la mesa no es una superficie reflectante perfecta una parte de la intensidad luminosa que le llega es absorbida por esta. Esto quiere decir que en la fórmula de la luminancia el valor de  $I$  estará afectado por el factor de reflexión.

$$L = \frac{I}{\text{Superficie aparente}} = \frac{\rho I}{S' \sin \beta} = \frac{0.8 \cdot 100}{0.5 \sin 30} = 320 \text{ cd/m}^2$$

#### Problemas propuestos

1- Cual es el ángulo solido subtendido en el centro de  $E$  una esfera de 3,20 m de diámetro por un área de  $0,5 \text{ m}^2$  localizada sobre su superficie?

Rta: 0,195 sr

2- Un ángulo solido de 0,080 sr esta subtendido en el centro de una esfera de 9,00 cm de diámetro por un área  $A$  en la superficie de la esfera. ¿Cuál es dicha área?

Rta: 0,000162 sr

3- Una lámina de metal de 8,5 x 11 cm esta iluminada por una fuente de luz colocada a 1,3 m directamente encima de la lámina. a) ¿Cuál es el flujo luminoso que incide en el metal si la fuente tiene una intensidad de 200 cd? b) ¿Cuál es el flujo luminoso total emitido por la fuente de luz?

Rta: a) 1,11 lm

b) 2510 lm

4- Una fuente monocromática de luz verde-amarilla (555 nm) de 40 W ilumina una superficie de  $0,5 \text{ m}^2$  desde una distancia de 1,0 m. ¿Cuál es la intensidad luminosa de la fuente y cuantos lúmenes inciden sobre dicha superficie?

Rta: a) 27320 lm

b) 54640 cd

5- ¿Cuál es la iluminación producida por una fuente de 200 cd sobre una superficie colocada a 4,0 m de distancia?

Rta: 12,5 lx

6- Una lámpara colocada a 2 m de una superficie pequeña produce sobre ella una iluminación de 100 lx. ¿Cuál es la intensidad de la fuente?

7- La cubierta de una mesa de 1 m de ancho y 2 m de largo está a 4,0 m de distancia de una lámpara. Si sobre esta superficie inciden 40 lm de flujo. ¿cuál es la iluminación  $E$  de la superficie?

Rta: 20,0 lx

8- Donde deberá colocar la lámpara del problema 7 para que la iluminación resultante se duplique?

Rta: 2,83 m

## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

9- Una fuente puntual de luz se localiza en el centro de una esfera de 70 mm de diámetro. Hay un orificio en la superficie de la esfera por el cual el flujo puede pasar a través de un ángulo sólido de 0,12 sr. ¿Cuál es el diámetro de esa abertura?

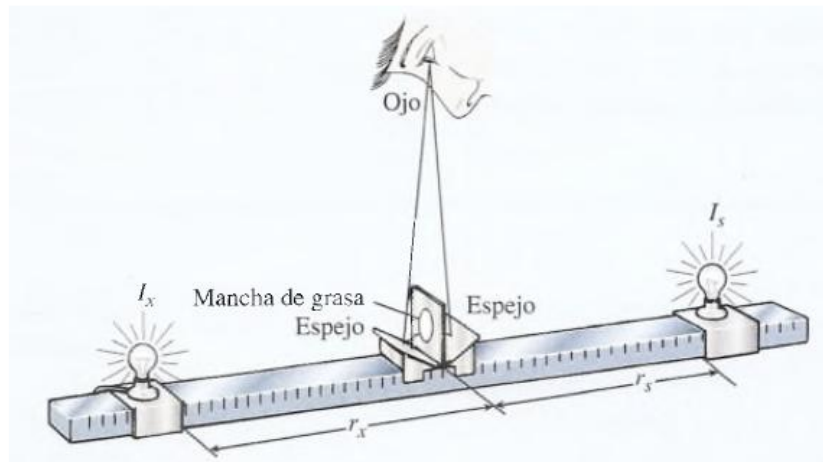
Rta: 13,7 mm

10- Cuando una luz cuya longitud de onda es 550 nm pasa del aire a una delgada placa de vidrio y vuelve a salir al aire, la frecuencia permanece constante, pero la rapidez de la luz a través del vidrio se reduce a  $2 \cdot 10^8$  m/s. ¿Cuál es la longitud de onda dentro del vidrio?

Rta: 370 nm

11- Se desea comparar una fuente luminosa estándar de 30 cd con una lámpara de intensidad desconocida utilizando un fotómetro de mancha de aceite (figura). Las dos fuentes luminosas se colocan a 1 m de distancia y la mancha de aceite se desplaza hacia la luz estándar. Cuando la mancha de aceite está a 25 cm de la fuente luminosa estándar, la iluminación es igual en ambos lados. Calcule la intensidad desconocida.

Rta: 270 cd



12- ¿Dónde se deberá colocar la mancha de aceite del problema 11 para que la iluminación procedente de la fuente luminosa desconocida sea exactamente el doble de la iluminación procedente de la fuente estándar?

13- La iluminación sobre una superficie es de 80 lx cuando esta se encuentra a 3 m de la fuente luminosa. ¿A qué distancia recibirá dicha superficie una iluminación de 20 lx?

Rta: 6,00 m

14- Una lámpara está suspendida 9 m sobre una calle y produce una iluminación de 35 lx sobre un punto colocado exactamente debajo de la misma. Calcule la intensidad luminosa de la lámpara.

15- Una fuente monocromática de luz verde-amarilla (555 nm) de 60 W ilumina una superficie de  $0,6 \text{ m}^2$ , desde una distancia de 1,0 m. a) ¿Cuál es el ángulo sólido suspendido en dicha fuente?

b) ¿Cuál es la intensidad luminosa de la fuente?

Rta: a) 0,60 sr

Física Aplicada a la Arquitectura  
Unidad 6-c: Luminotecnia

b) 68 000 cd

16- A que distancia de una pared una lámpara de 35 cd producirá la misma iluminación que una lámpara de 80 cd colocada a 4,0 m de dicha pared?

17- Cuanto será necesario bajar una pequeña lámpara para duplicar la iluminación que produce en un objeto colocado a 80 cm directamente debajo de ella?

Rta: 23,4 cm

18- Calcule la iluminación que una fuente luminosa de 74 cd produce sobre una superficie de  $140 \text{ cm}^2$  si la normal a dicha superficie forma un ángulo de  $38^\circ$  con el flujo luminoso.

19- La cubierta de una mesa circular se encuentra 4 m debajo y 3 m a la izquierda de una lámpara que emite 1800 lm. a) ¿Qué iluminación recibe la superficie de la mesa? b) ¿Cuál es el área de la superficie de la mesa si inciden sobre ella 3 lm de flujo?

Rta: a) 4,58 lx

b)  $0,655 \text{ m}^2$

20- ¿Que ángulo  $\theta$  entre el flujo y una recta normal a una superficie hará que la iluminación sobre dicha superficie se reduzca a la mitad sin que la distancia de la fuente luminosa sufra cambio alguno?

21- Toda la luz procedente de un reflector se capta y enfoca sobre una pantalla de  $0,30 \text{ m}^2$  de superficie. ¿Cual deberá ser la intensidad luminosa del reflector para producir una iluminación de 500 lx?

Rta: 150 cd

22- Una lámpara de 300 cd está suspendida 5 m sobre el borde izquierdo de una mesa. Calcule la iluminación que recibe un pequeño pedazo de papel colocado a una distancia horizontal de 2,5 m del borde de la mesa.

Rta: 8,59 lx

23- Una fuente luminosa desconocida A colocada a 80 cm de una pantalla produce la misma iluminación que una fuente luminosa estándar de 30 cd colocada en el punto B situado a 30 cm de la pantalla. ¿Cuál es la intensidad luminosa de la fuente de luz desconocida?

24- La iluminación que una fuente luminosa produce sobre una superficie colocada 3,40 m debajo de ella es de 20 lx. Calcule: a) la intensidad de la fuente luminosa. b) La distancia debajo de la fuente luminosa a la que se duplicará la iluminación. c) ¿También el flujo luminoso se duplicará en esa ubicación?

Rta: a) 231 cd

b) 2,40 m

c) no

## Física Aplicada a la Arquitectura

### Unidad 6-c: Luminotecnia

25- La iluminación de una fuente isotrópica es  $E_A$  en un punto  $A$  localizado sobre una tabla que se encuentra 30 cm exactamente debajo de la fuente. ¿A qué distancia horizontal de  $A$  sobre la cubierta de la mesa se reducirá la iluminación a la mitad? Rta: 0,2654 m