



Escuela de Verano
para estudiantes de Enseñanza Media
4 al 27 de enero 2010

Universidad de Chile
Escuela de Verano 2010
Curso Energías Renovables I

Guía Teórica: Eficiencia Lumínica

Escrita por: Nicolás Flores

Enero 2010



Introducción

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. Podemos clasificar la luz según su procedencia como luz natural (proveniente del sol) y luz artificial (producidas por el hombre)

No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una ampolleta, se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello se darán algunas definiciones de magnitudes como flujo luminoso, la intensidad luminosa, la iluminancia, la luminancia, el rendimiento o eficiencia luminosa.

A pesar de que hay muchas cosas que se pueden hacer para un mejor aprovechamiento de la luz natural, en esta guía nos enfocaremos en mejorar la eficiencia de la luz proveniente de iluminación artificial.

Algunas Definiciones

Flujo luminoso

Para hacernos una primera idea consideraremos dos bombillas (ampolletas), 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 luce más? o dicho de otra forma ¿cuánto luce cada bombilla?



Figura 1: Flujo luminoso bombilla de 25 W y de 60 W

Cuando hablamos de 25[W] o 60[W] nos referimos sólo a la potencia consumida por la bombilla de la cual solo una parte se convierte en luz visible, es el llamado flujo luminoso. Podríamos medirlo en Watts (W), pero resulta más sencillo definir una nueva unidad, el lumen, que toma como referencia la radiación visible. Empíricamente se demuestra que una radiación emitida por un cuerpo negro cuya longitud de onda es de 555[nm] y su potencia es de 1[W] le corresponden 683 lúmenes.

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 Φ 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:

$$1 \text{ Watt-luz a } 555 \text{ nm} = 683 \text{ lm}$$

Intensidad luminosa

El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una ampolleta, en todas las direcciones del espacio. Por otro lado, 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.



Figura 2: Diferencia entre flujo e intensidad luminosa.

Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta $I = \Phi/\omega$. Su símbolo es I y su unidad la candela (cd).



Figura 3: Intensidad Luminosa producida por una fuente de luz

Illuminancia

Si alguna vez jugaste a iluminar con una linterna objetos situados a diferentes distancias te habrás dado cuenta que si se pone la mano delante de la linterna podemos ver ésta 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.



Figura 4: Iluminancia a distintas distancias

Se define iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie $E = \Phi/S$. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm/m^2 .

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 auto; 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. Esta ley solo es válida si la dirección del rayo de luz incidente es perpendicular a la superficie.

Ley inversa de los cuadrados: $E = \frac{I}{r^2}$

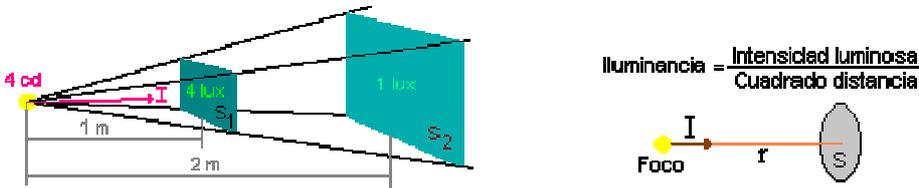


Figura 5: Ley Inversa de los cuadrados

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.

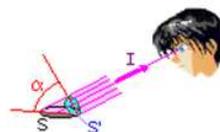
Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2 . También es posible encontrar otras unidades como el stilb ($1 \text{ sb} = 1 \text{ cd}/\text{cm}^2$) o el nit ($1 \text{ nt} = 1 \text{ cd}/\text{m}^2$).

Luminancia

$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}}$$

Símbolo: L

Unidad: cd/m^2



Es importante destacar que sólo vemos **luminancias**, no **iluminancias**.

Deslumbramiento

Es deslumbramiento es una condición visual que produce molestia, interferencia en la eficiencia visual y/o fatiga visual, debido a la gran luminosidad de una porción del campo de visión (lámparas, luminarias, ventanas u otras superficies que son mucho más luminosas que el resto del campo visual).

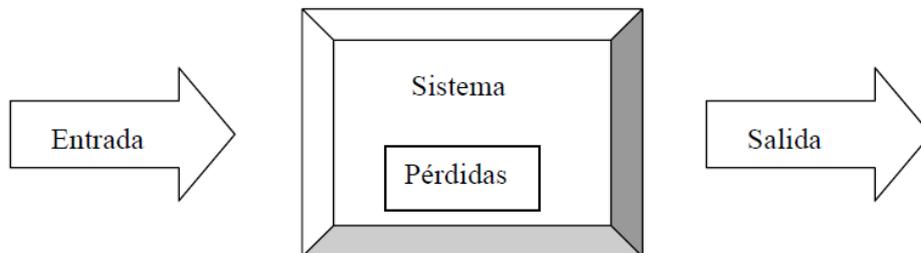
Eficiencia en la iluminación artificial.

Concepto de Eficiencia

Desde que la sociedad ha comenzado a sentir las dificultades para proveerse de energía por efecto de sequías o de agotamiento de los recursos naturales, expresiones como *utilización eficiente de la energía* y *uso racional de la energía*, se escuchan y escriben a menudo.

La *utilización eficiente* implica que se usa la menor cantidad posible de energía para lograr el fin deseado, por ejemplo al calentar una cierta porción de agua, al enfriar alimentos en un refrigerador, al trasladar personas de un piso a otro mediante un ascensor o escala mecánica o al iluminar un recinto acorde a los requerimientos visuales, etc.

El concepto de Eficiencia para un sistema puede ser definido como la relación entre la energía que éste entrega como resultado de su funcionamiento dividida por la energía de entrada al sistema, siendo las pérdidas en el proceso la diferencia entre ambas; en la medida que se reduzcan estas pérdidas la *Eficiencia* del sistema mejorará



$$Eficiencia = \frac{Salida}{Entrada} \times 100[\%]$$

La dificultad para aplicar esta sencilla relación es que ella asume que tanto la Entrada como la Salida estén en las mismas unidades, lo que normalmente no ocurre:

- Una plancha eléctrica puede tener una Entrada de 1[kWh] pero su Salida es un calentamiento de su base en una cierta cantidad de grados Celsius
- Un automóvil consume energía en forma de litros de combustible y su resultado es el poder recorrer una cierta distancia en kilómetros

Por lo anterior es que se ha diseñado un Índice de Eficiencia que permite soslayar el problema planteado y ello consiste en reconocer para la Salida una unidad propia del resultado ó función para la cual fue hecho el sistema o aparato, que para la plancha daría en kWh sobre grado Celsius y que para el automóvil sería en Litros sobre Kilómetro ó, como se acostumbra en el país en Kilómetros sobre Litro

Rendimiento luminoso o eficiencia luminosa

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

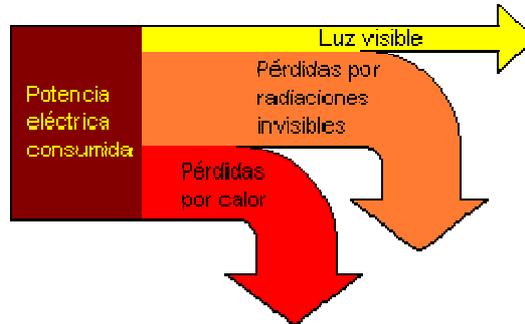


Figura 6: Transformación de la potencia entregada en luz visible y pérdidas

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]...). Mientras mayor sea mejor será la lámpara y menos gastará. La unidad es el lumen por watt (lm/W).

Rendimiento luminoso Símbolo: η

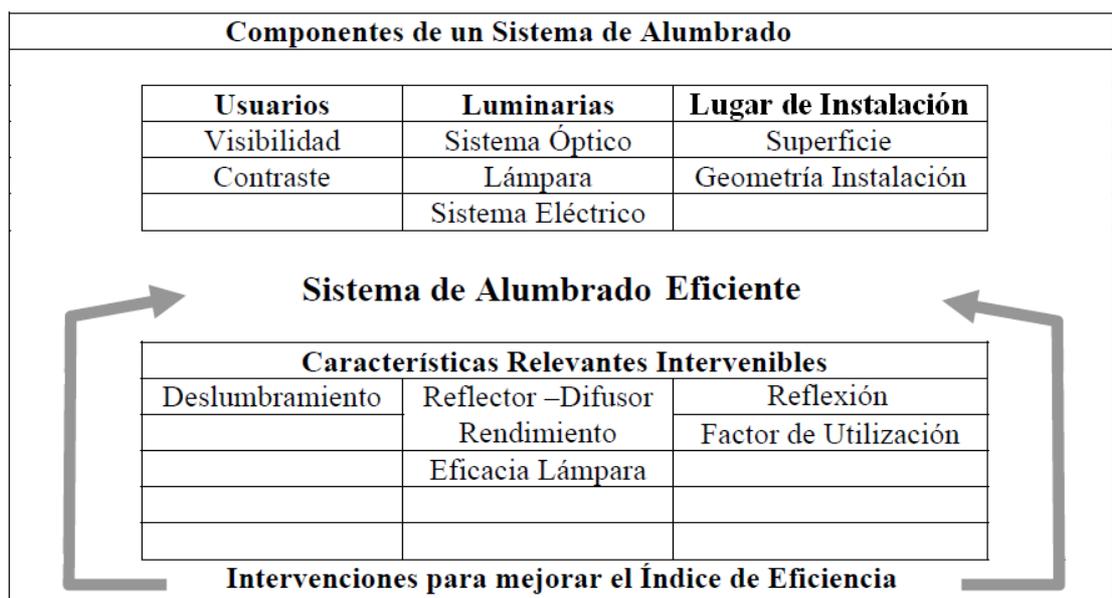
$$\eta = \Phi/W$$

Unidad: lm / W

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

Eficiencia en la iluminación artificial.

Hecho estos alcances respecto a eficiencia, podemos entrar a analizar cómo se va configurando el Índice de Eficiencia de un sistema de alumbrado. Lo primero es señalar que el comportamiento final dependerá del comportamiento de los diversos elementos y componentes que lo constituyen y por ende es de importancia que identifiquemos a cada uno de ellos. Lo segundo es determinar identificar el índice de Eficiencia de cada elemento y componente para poder establecer posibles mejoras.



Según el cuadro anterior y el desglose allí indicado, se puede ir analizando cómo tender a un sistema de alumbrado eficiente al intervenir en las Características Relevantes de los componentes:

1) Usuario:

El usuario puede aprovechar mejor la energía lumínica del sistema si se evita que sufra deslumbramiento por efecto de las lámparas. Ello se fundamenta en que, al estar deslumbrado, necesita mayor contraste para distinguir los objetos y por lo tanto el sistema le debe suministrar una cantidad de energía lumínica mayor que si no estuviera sufriendo deslumbramiento.

2) Luminarias:

En ellas podemos encontrar el mayor número de componentes que se pueden mejorar para contribuir a un sistema más eficiente.

Reflector: Este es un componente del sistema óptico cuya función es redirigir el flujo luminoso de la ampollita hacia el difusor ó salida de la luminaria. Mientras mayor sea la absorción de luz en él, mayor será la pérdida de luz.

Difusor: El difusor tiene por objetivo proteger el sistema óptico del ingreso de contaminación y de agua, pero también puede en algunos casos ayudar a la mejor distribución de la luz hacia afuera (en este caso tiene por lo general prismas). También permite la protección de la ampollita de la intromisión de mosquitos o acciones vandálicas en el caso de las luminarias públicas. El difusor juega un rol importante en las pérdidas de luz en el interior de la luminaria puesto que a través de él debe pasar toda la luz directa de la lámpara y la reflejada en el reflector. Por tanto es un componente muy influyente en la eficiencia del sistema de alumbrado.

3) Eficacia de la Lámpara (Ampolletas)

La lámpara es un componente que consume energía eléctrica y emite energía lumínica. Como dijimos anteriormente, el Índice de Eficiencia se mide en lúmenes sobre watt y representa la potencia lumínica que es capaz de producir la lámpara por cada watt de entrada. En el lenguaje de especialistas se habla de la Eficacia de la lámpara.

En el mercado podemos encontrar diversos tipos de ampolletas para estas lámparas, una ampollita es eficiente cuando la mayor proporción de la energía la consume para producir luz y no para generar calor, por lo tanto, la principal diferencia es que las ampolletas de ahorro de energía generan la misma luz que una ampollita normal, disminuyendo significativamente el consumo y la cantidad de calor traspasada al ambiente.

Las ampolletas normales (incandescentes y halógenas) gastan aproximadamente un 90% de la energía en producir calor y sólo un 10% en generar luz, mientras que las de bajo consumo emiten su luz con una mínima producción de calor, en otras palabras, las ampolletas normales sólo aprovechan en iluminación entre el 5 y 15 % de la energía que consumen, el resto, es utilizado en calor. En cambio, las de ahorro energético convierten la mayor parte de la energía consumida en luz y no en calor. Esto significa que iluminan lo mismo, pero gastan menos energía y además duran más, por tanto son más eficientes.

En la práctica ¿Qué beneficios tiene utilizar ampolletas eficientes? Una buena parte del consumo de energía eléctrica de un hogar corresponde a iluminación, por lo tanto al reemplazar las ampolletas incandescentes normales por ampolletas eficientes, se pueden reducir hasta en un 80% los consumos.

Además, aunque tienen un valor más alto que las normales, la vida útil de una ampollita de bajo consumo es al menos 10 veces mayor al de las ampollitas incandescentes.

Por ejemplo, usar ampollitas eficientes en focos o lámparas que están encendidas 4 horas al día permite ahorrar entre 25% y 30% de electricidad.

¿Con qué tipo de ampollita de ahorro de energía reemplazo una normal?

- Una ampollita eficiente de bajo consumo de 9 Watts equivale en potencia a una ampollita incandescente normal de 40 Watts.
- Una de 11 Watts puede reemplazar a una de 60 Watts.
- Una de 15 Watts a una de 75 Watts
- Una de 25 Watts a una de 100 Watts

d) Pérdidas en los Balastos

Los balastos son componentes eléctricos de la luminaria encargados de limitar las características de corriente y tensión en la lámpara. En esta labor se producen pérdidas principalmente en forma de calor, lo cual hace que la Eficiencia de ellos varíe en el rango de 10 a 20% en el rango de potencias de 400 a 70 Watts respectivamente (luminarias públicas). Los balastos de naturaleza electrónica pueden ofrecer trabajar con pérdidas bastante menores e incluso mejorar la Eficacia de las lámparas al trabajar con frecuencias mayores a 50 Hz.

e) Características de Reflexión de las superficies

La capacidad de ver del usuario en la noche aumenta con la luminosidad del entorno y/o fondo. Es por eso que la reflexión de la luz en la superficie que incide juega un papel clave. Por ejemplo, en el proceso de conducción nocturna el automovilista reconoce los objetos y obstáculos por contraste contra el fondo iluminado. Este fondo iluminado es el pavimento en el caso del alumbrado público, que recibe la luz de las luminarias y la refleja hacia el observador o conductor. Mientras menos luz refleje el pavimento más energía luminosa se deberá consumir para mantener su luminosidad en los valores adecuados al usuario de las vías.

f) Factor de Utilización

En el alumbrado público, el factor de utilización describe, para una instalación determinada, el porcentaje de luz emitida por la lámpara que llega a la calle en cuestión, es decir, considera a la luminaria ya instalada en un lugar determinado alumbrando una calle de ancho conocido y con una altura de montaje dada.

$$Factor\ de\ Utilización = \frac{Luz\ Útil}{Luz\ Lámpara} \cdot 100[\%]$$

Luz Útil: Aquella que llega a la zona que se desea iluminar

Luz Lámpara: Luz total emitida por la ampollita

La figura que sigue explica gráficamente lo anterior y permite darse cuenta de la importancia de usar luminarias que muestren un adecuado Factor de Utilización para la calle que se desea iluminar a fin de no perder luz.

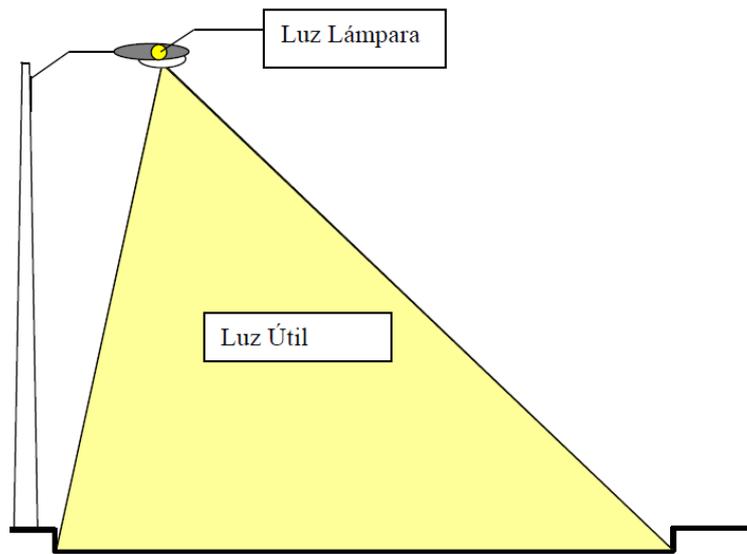


Figura 7: Luz de Lámpara y Luz Útil

De lo anterior se desprende que hay varias opciones para ir mejorando la Eficiencia de un sistema de alumbrado siendo la lámpara (ampolleta) la que está en ventaja y es a la vez la que está más a nuestro alcance manipular. El siguiente aspecto es la instalación, y allí es de responsabilidad directa de los usuarios, en el caso del uso doméstico, o de los ingenieros proyectistas de alumbrado el que traten de obtener en sus proyectos Eficiencias mayores a través de un mejor manejo de los Factores de Utilización. En relación a los balastos se mencionó que los electrónicos presentan una mejor Eficiencia al mismo tiempo que mejoran la Eficiencia de la lámpara.