

Por GONZALO DE FUENTES BESCOS

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos  
de los Servicios Eléctricos de Obras Públicas

*Conferencia pronunciada en la Escuela de Ingenieros de Caminos,  
el día 2 de Diciembre de 1963, ante los alumnos de 4.º año-Plan Nuevo de la misma.*

Atendiendo la amable invitación que se me ha hecho para darles a ustedes unas ideas sobre la técnica de la iluminación, accedo muy gustoso a ello, aunque debo significar que no soy la persona más adecuada para realizarlo, por lo que confío sabrán disculpar las deficiencias en que pueda incurrir.

Ante todo, he de decirles que pretendo que esta charla tenga un carácter eminentemente práctico, por lo que fundamentalmente va a estar orientada a darles unas ideas sobre la forma de proyectar una instalación de alumbrado. Para ello estudiaremos primero brevemente qué es la luz, analizaremos después cuáles son sus unidades fundamentales y la distribución espacial de la misma; pasaremos luego revista a los diversos tipos de fuentes de luz existentes en la actualidad, para entrar, finalmente, en el proyecto de una instalación de alumbrado propiamente dicha, de la que pondremos dos ejemplos que nos permitan concretar en cifras las ideas que vayamos exponiendo.

La técnica de la iluminación es una técnica joven. Nace a finales del siglo pasado, al inventar Edison, en 1897, la primera lámpara incandescente de filamento de carbón, y cuenta, por tanto, con apenas ochenta y cinco años de existencia. Como técnica joven que es, no ha alcanzado aún su madurez, y no la ha alcanzado porque no se han llegado aún a conocer causas y efectos con la precisión necesaria para permitir concretarlos mediante la formulación matemática adecuada. Es decir, no se ha alcanzado aún el conocimiento suficiente de los fenómenos luminosos como para plasmarlos en unas ecuaciones que nos permitan, a partir de unos principios o axiomas fundamentales, ir deduciendo todos los efectos hasta sus últimas consecuencias. Es, por tanto, a su nivel actual, una técnica eminentemente empírica, y como tal, orientada por los resultados de la experimentación.

## 1. ¿Qué es la luz?

Podemos definir la luz como energía radiante con capacidad para producir sensaciones visuales, es decir, energía radiante con capacidad para excitar nuestro sentido de la vista.

La energía radiante está constituida por ondas electromagnéticas, cuyas propiedades nos son perfectamente conocidas por haber sido estudiadas por la Física. Estas ondas electromagnéticas se transmiten en el éter a la fantástica velocidad de 300 000 kilómetros/seg., existiendo entre su velocidad de propagación  $V$ , la frecuencia de las mismas  $f$  o número de vibraciones por segundo, y su longitud de onda  $\lambda$  la siguiente relación:

$$V = f \times \lambda .$$

Atendiendo a su longitud de onda  $\lambda$ , estas ondas se clasifican en el llamado Espectro Electromagnético (fig. 1.<sup>a</sup>) en el que, como puede verse, aparecen desde las ondas radioeléctricas a la radiación cósmica, con longitudes de onda que oscilan entre cientos de kilómetros y milésimas de Angstrom.

De todas ellas, las únicas con capacidad para excitar nuestro sentido de la vista son las comprendidas entre 0,38 y 0,76 micrones, que constituyen el margen de radiación visible.

Inmediatas a él, con longitudes de onda mayores y menores, respectivamente, se encuentran la radiación infrarroja, cuya acción fundamental es la producción de calor, y de ahí su empleo en calefacción de locales, hornos de secado, etc., y la radiación

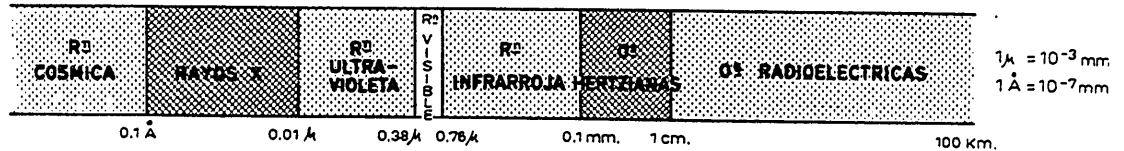


Figura 1.<sup>a</sup>.

ultravioleta cuyo principal efecto es su acción química, por lo que se emplea como lámpara solar para la pigmentación artificial de la piel y como destructora de microorganismos.

En la radiación visible (fig. 2.<sup>a</sup>), que comprende las longitudes de onda de 0,36 a 0,78 micrones, se encuentran representados todos los colores del espectro, desde el rojo al violeta, pasando por el amarillo y el verde. Sin embargo, no todos estos colo-

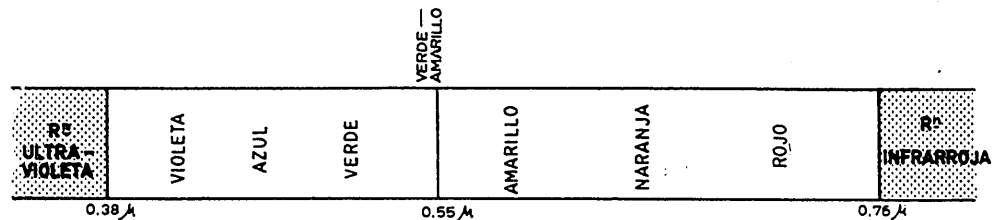


Figura 2.<sup>a</sup>.

res, es decir, no todas las longitudes de onda comprendidas en el espectro visible son captadas por el ojo humano con la misma sensibilidad.

Si sobre un sistema coordenado rectangular llevamos en el eje de abscisas las longitudes de onda del margen visible, y en el eje de ordenadas representamos la sensibilidad del ojo humano en tanto por ciento, habremos obtenido la curva de sensibilidad (fig. 3.<sup>a</sup>), que tiene forma de campana de Gauss y que presenta su máximo para la longitud de onda de 0,55 micrones, que corresponde al color amarillo verdoso.

Consideremos ahora una fuente de luz convencional, por ejemplo, una lámpara incandescente, y veamos cómo se distribuye entre las diversas longitudes de onda la energía radiante emitida por ella. Si llevamos igual que antes sobre el eje de abscisas las longitudes de onda, y sobre el eje de ordenadas la energía radiante emitida por la fuente de luz en la unidad de tiempo, obtenemos la curva de distribución de dicha energía radiante (fig. 4.<sup>a</sup>), la cual nos indica que la mayor parte de la energía

se emite como radiación infrarroja o ultravioleta y que sólo una pequeña parte es emitida en longitudes de onda correspondientes al margen de radiación visible. Ahora bien, debido a la diferente sensibilidad del ojo humano para las distintas longitudes de onda, no toda esta última energía se convierte directamente en luz, ya que los vatios radiados por unidad de tiempo en cada longitud de onda vienen atempe-

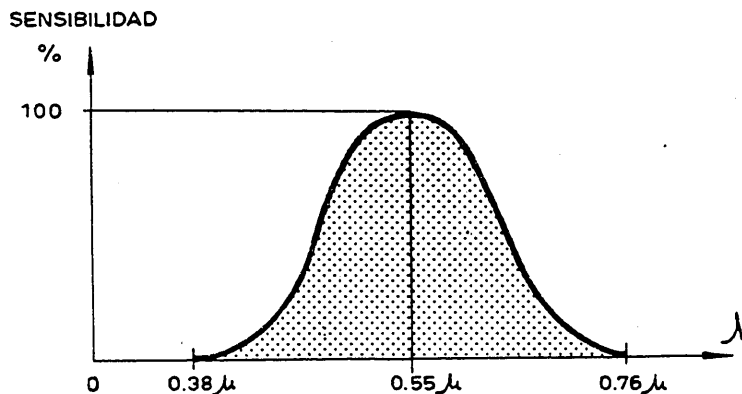


Figura 3.ª.

rados por los porcentajes de sensibilidad del ojo a que anteriormente nos hemos referido. Afectando a la energía radiante dentro del margen visible del coeficiente de sensibilidad correspondiente, obtenemos la curva de distribución de luz (fig. 5.ª) que nos indica cómo se distribuye ésta entre las diversas longitudes de onda.

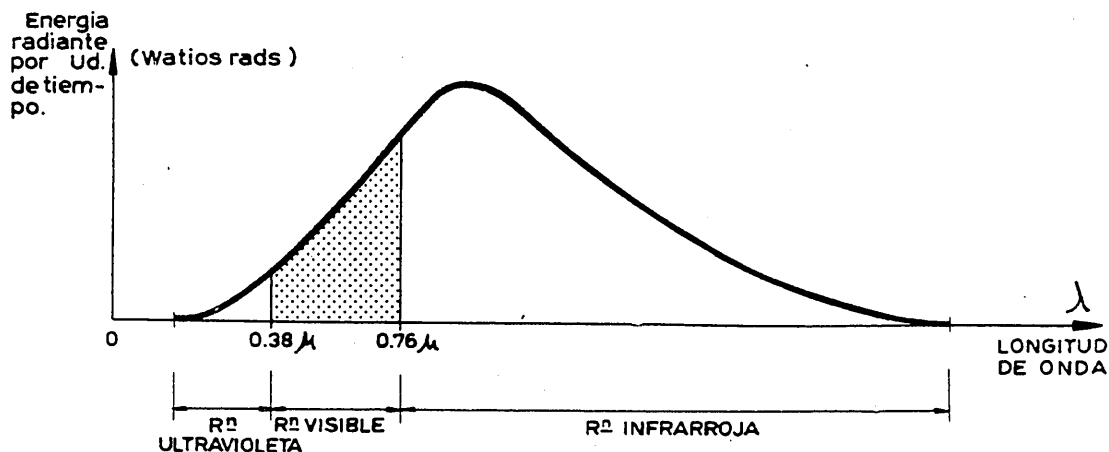


Figura 4.ª.

Si la energía eléctrica aplicada a la lámpara incandescente se convirtiera toda ella en energía radiante dentro del espectro visible, y a la vez la sensibilidad del ojo humano fuera el 100 por 100 para todas las longitudes de onda, cada vatio eléctrico aplicado se convertiría en un vatio de luz. Como, desgraciadamente, esto no es así, la eficacia luminosa de la fuente de luz, es decir, la relación entre la potencia luminosa (vatios luz) y la potencia eléctrica (vatios eléctricos), es siempre menor que la unidad.

En la práctica, se ha considerado que el vatio luz es demasiado grande para me-

dir la potencia luminosa de las fuentes convencionales, por lo que se ha adoptado como unidad el lumen, de tal modo que se verifique: 1 vatio luz = 650 lúmenes.

La eficacia teórica ideal de una fuente de luz es, por tanto, de 650 lúmenes por vatio eléctrico absorbido, aún cuando en la práctica, y por todo lo anteriormente expuesto, no existe lámpara alguna que proporcione una eficacia tan elevada, siendo

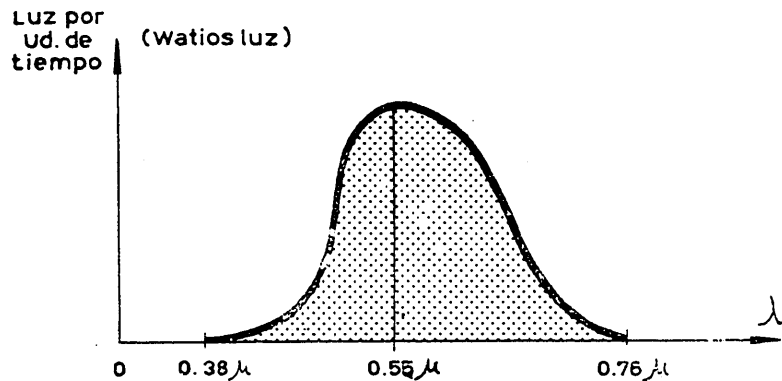


Figura 5.º.

las lámparas de vapor de sodio, como luego veremos, las que alcanzan eficacias mayores hasta de 90 lúmenes/vatio, precisamente para emitir luz de color amarillento con una longitud de onda próxima a los  $55 \mu$  correspondiente a la máxima sensibilidad del ojo humano.

## 2. Unidades fundamentales.

Cuatro son las unidades fundamentales dentro del campo de la iluminación: Flujo luminoso, intensidad luminosa, nivel de iluminación y luminancia.

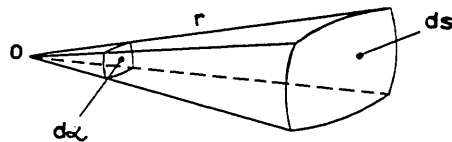


Figura 6.º.

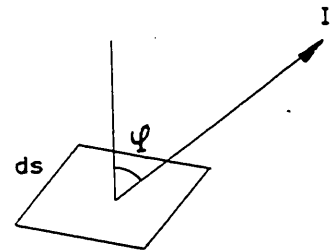


Figura 7.º.

Podemos definir el flujo luminoso como la cantidad total de luz emitida por una fuente de luz en la unidad de tiempo. Es, pues, la potencia luminosa y se representa por la letra griega  $\Phi$ . Su unidad es el lumen (Lm.) equivalente, como ya hemos dicho, a  $1/650$  vatios radiados a la longitud de onda de  $0,55 \mu$ .

Para poder darse idea del orden de magnitud de esta unidad, diremos que una lámpara incandescente de 100 W. de las utilizadas normalmente para el alumbrado doméstico, presenta un flujo luminoso de unos 1 500 lúmenes.

La intensidad luminosa según una dirección, se define como la derivada del flujo

luminoso con respecto al ángulo sólido que rodea esa dirección y a través del cual se emite dicho flujo. Es decir:

$$I = \frac{d\Phi}{d\alpha}.$$

El ángulo sólido  $\alpha$  nos viene definido por la relación (fig. 6.<sup>a</sup>):

$$ds = r^2 d\alpha;$$

y su unidad es el esterradián o ángulo sólido delimitado por el cono que une el centro de una esfera de 1 m. de radio con el perímetro que encierra un área de 1 m.<sup>2</sup> sobre la superficie de dicha esfera. Alrededor de un punto del espacio existen, pues,  $4\pi$  esterradianes.

La unidad de intensidad luminosa es la candela (Cd), igual al lumen/esterradián, y para fijar ideas diremos que la lámpara incandescente de 100 W. anteriormente considerada, dotada de la conveniente pantalla, produce en el centro del haz una intensidad luminosa del orden de las 300 candelas.

La intensidad luminosa, por lo tanto, nos da idea de cómo se reparte entre las diversas direcciones el flujo emitido por una fuente de luz, es decir, nos indica cuál es la distribución espacial del flujo luminoso.

Definimos el nivel de iluminación como la derivada del flujo luminoso respecto a la superficie en la que el mismo incide. O sea:

$$E = \frac{d\Phi}{ds}.$$

Su unidad es el lux, equivalente al lumen/m.<sup>2</sup>, y como orientación indicaremos que el nivel de iluminación medio en día despejado, al mediodía y a la sombra, es del orden de 5 000 lux, mientras que el nivel medio requerido, por ejemplo, en un local de oficinas es del orden de 500 lux.

Teniendo en cuenta las definiciones dadas anteriormente de intensidad luminosa y de ángulo sólido, deducimos:

$$E = \frac{d\Phi}{ds} = \frac{I d\alpha}{r^2 \cdot d\alpha} = \frac{I}{r^2};$$

lo que nos dice que el nivel de iluminación en un punto es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que lo separa de la fuente puntual de luz.

Finalmente, la luminancia según una dirección (fig. 7.<sup>a</sup>) se define como la derivada de la intensidad luminosa emitida por una superficie (bien sea fuente de luz o área iluminada) según esa dirección, con respecto a la proyección de dicha superficie sobre un plano normal a la dirección considerada. Es decir:

$$L = \frac{dI}{\cos \varphi \cdot ds}$$

Su unidad es la candela/m.<sup>2</sup> y podemos decir que una superficie blanca que reciba un nivel de iluminación de 500 lux, presenta en la dirección perpendicular a ella una luminancia del orden de 50 candelas/m.<sup>2</sup>.



Uniendo aquellos puntos que presentan el mismo nivel de iluminación, tendremos dibujada la familia de curvas iso-lux, lugar geométrico de los puntos del plano que reciben la misma iluminación.

Estas curvas (fig. 10) se representan en un sistema coordenado rectangular, en cuyo origen se supone colocada la proyección ortogonal de la fuente de luz y cuyas abscisas y ordenadas se miden en función de la altura  $h$  de dicha fuente sobre el plano.

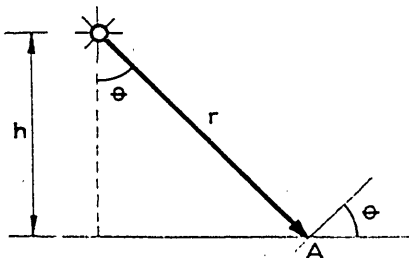


Figura 9.º.

El flujo luminoso emitido por una fuente primaria, no suele llegar de modo directo al ojo del observador. La mayor parte del mismo es absorbido, transmitido o reflejado por el espacio circundante y superficies sobre las que incide, que se convierten así en fuentes de luz secundarias.

Si llamamos respectivamente  $r$ ,  $a$ ,  $t$  a los coeficientes de reflexión, absorción y transmisión, que se definen como la relación entre el flujo reflejado, absorbido o transmitido y el flujo luminoso incidente, se verifica siempre que:

$$r + a + t = 1.$$

