TEMA 51

LEYES FUNDAMENTALES DE LA LUMINOTECNIA

51.1 GENERALIDADES.

En este tema se van a estudiar las leyes fundamentales de la luminotecnia, así como las relaciones que ligan las magnitudes luminosas.

51.2. LEY FUNDAMENTAL DE LA ILUMINACIÓN.

La intensidad luminosa de una fuente, **I** está definida por la ecuación[1]:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \tag{51.1}$$

También se sabe que la iluminancia, **E** está definida por la ecuación:

$$E = \frac{d\Phi}{ds} \tag{51.2}$$

Para un elemento de superficie esférica, **ds** situado a una distancia **d** de un foco puntual, se cumple:

$$ds = d^2.d\omega \tag{51.3}$$

Consideremos un foco luminoso puntual que emite un flujo **dΦ** sobre un elemento de superficie **ds** (base de un cono de ángulo **dω**), según se indica en la Fig.51.1

[1] **ω** se expresa en estereorradián (unidad de medida para ángulos sólidos). Dada una esfera de radio *r*, el estereorradián es el ángulo sólido comprendido en el cono que tiene por vértice el centro de la esfera y caya área de la base sobre la esfera es $r^2 (ds = r^2.d\omega)$. Recordando que el área de la esfera de radio *r* es $4\pi r^2$, el ángulo que abarca todo el espacio vale 4π estereorradianes.

Combinando (51.1), (51.2) y (51.3), se obtiene:

$$E = \frac{I}{d^2} \qquad (51.4)$$

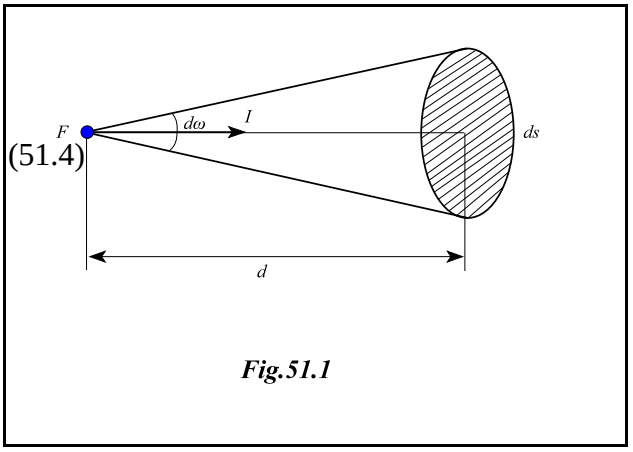


Fig.51.1

La expresión (51.4) constituye la ley fundamental de la iluminación. La podemos enunciar de la siguiente forma: *La iluminancia de una superficie situada perpendicularmente a la dirección de radiación de un foco puntual, es directamente proporcional a la intensidad luminosa e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que la separa del mismo.*

Esta ley sólo es aplicable a fuentes luminosas puntiformes, no obstante, a efectos prácticos, cuando la distancia **d** exceda en más de diez veces el valor del diámetro de la superficie luminosa, se puede aplicar la ley con un error relativo inferior al 1%. El error decrece rápidamente cuando la distancia entre la superficie y la fuente luminosa es suficientemente grande.

En el supuesto que se pretenda aplicar la ley a la iluminación de superficies situadas a pequeñas distancias de la fuente, tendremos que considerar elementos diferenciales de superficie, y proceder a su integración.

51.3. LEY DEL COSENO.

Si la superficie que se pretende iluminar, **S'** formase un ángulo φ con la dirección de los rayos luminosos, que se suponen emitidos por una fuente luminosa uniforme, la superficie perpendicular al flujo, **S** será:

$$S = S'.\cos\varphi \qquad (51.5)$$

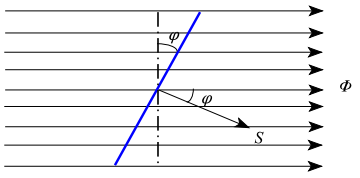


Fig.51.2

En consecuencia, la iluminancia de la superficie **S',** será:

$$E' = \frac{d\Phi}{ds}.\cos\varphi \qquad (51.6)$$

Sustituyendo (51.1) y (51.3) en (51.6), se obtiene:

$$E' = \frac{I}{d^2}.\cos\ \varphi \qquad (51.7)$$

La expresión (51.7) constituye la *ley del coseno*, la cual puede enunciarse de la siguiente forma: *La iluminancia es proporcional al coseno del ángulo de incidencia del flujo luminoso en el punto considerado.*

El ángulo de incidencia es el formado por el flujo luminoso y la perpendicular a la superficie.

51.4. LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA.

La ley de la inversa del cuadrado de la distancia, es consecuencia de la ley fundamental de la iluminación. En efecto, en la Fig.51.3 la iluminación de la superficie $\mathbf{S_1}$ situada a una distancia $\mathbf{d_1}$ del foco puntual **P**, en función de (51.7), es:

$$E_1 = \frac{I}{d_1^2}.\cos\ \varphi \qquad (51.8)$$

La iluminación a la distancia $\mathbf{d_2}$, será:

$$E_2 = \frac{I}{d_2^2}.\cos\ \varphi \qquad (51.9)$$

Dividiendo miembro a miembro las expresiones (51.8) y (51.9), tenemos:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \qquad (51.10)$$

La expresión (51.10) se conoce como la ley de la inversa de los cuadrados. Esta ley se enuncia de la siguiente forma: *Para un mismo foco luminoso puntual, las iluminancias en las diferentes superficies normales a la radiación, son inversamente proporcionales al cuadrado de sus distancias a dicho foco.*

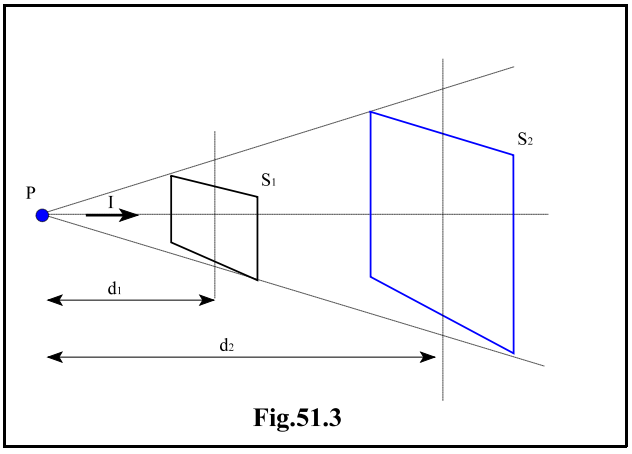


Fig.51.3

51.5. LEY DE LAMBERT.

La ley de Lambert se enuncia de la siguiente forma: *Una superficie luminosa siempre que sea suficientemente pequeña o bien reducible a su centro de gravedad, presenta una luminancia constante, cualquiera que se la dirección considerada.*

La ley se puede aplicar a los manantiales luminosos secundarios[2] siempre que éstos tengan una difusión perfecta.

En la Fig.51.4 se ha representado un manantial luminoso con una superficie **ds**.

En la Fig.51.4, la intensidad luminosa $\mathbf{I_{máx}}$ se corresponde con un ángulo $\varphi = \mathbf{0}$.

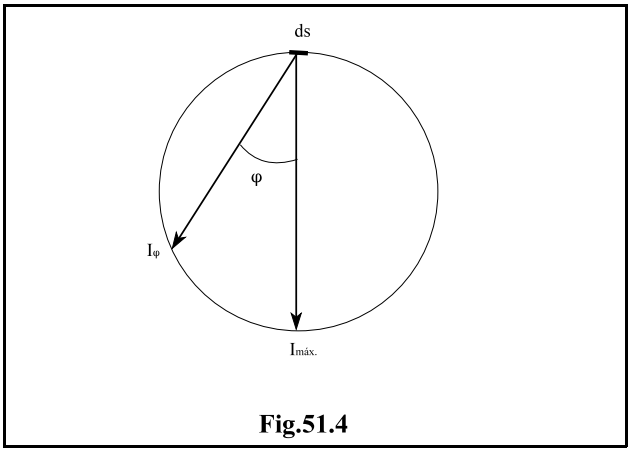


Fig.51.4

La intensidad luminosa para el ángulo φ genérico, es:

$$I_\varphi = I_{máx}.\cos\varphi \qquad (51.11)$$

La luminancia $\mathbf{L}_\varphi$ será:

$$L_\varphi = \frac{I_\varphi}{ds.\cos\varphi} \qquad (51.12)$$

Sustituyendo (51.11) en (51.12), resulta:

$$L_\varphi = \frac{I_{máx}}{ds} = C^{te} \qquad (51.13)$$

Esta ley tiene gran importancia, ya que permite asociar los elementos luminosos como si se tratasen de manantiales de luz puntiformes no-superficiales. Como ejemplo, tenemos las lámparas de incandescencia con cristal transparente, donde la superficie del filamento de tungsteno puede reducirse a un punto situado en su centro de gravedad. Sin embargo, cuando se trata de lámparas de forma tubular no se puede aplicar la ley de Lambert, a no ser que la lámpara considerada esté suficientemente alejada del observador.

[2] Un manantial luminoso secundario es aquel que emite luz por reflexión cuando recibe radiación luminosa de un manantial luminoso primario.

51.6. ILUMINACIÓN NORMAL, HORIZONTAL Y VERTICAL.

Supongamos que tenemos un punto **P** iluminado por un foco luminoso puntual **F**, el cual emite una intensidad luminosa **I**, y situado a una distancia **d**, tal como se indica en la Fig.51.5.

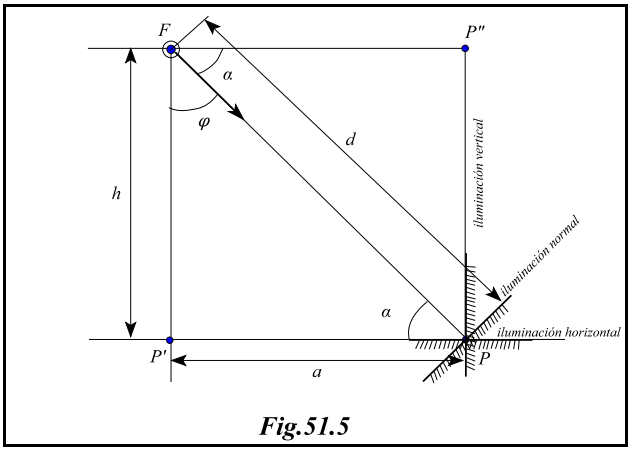


Fig.51.5

En el punto **P** vamos a considerar tres planos: horizontal, vertical y normal, de forma que a cada uno de ellos le va a corresponder una iluminación, que se denominará, en función del plano correspondiente:

E_n = Iluminación normal.
E_h = Iluminación horizontal.
E_v = Iluminación vertical.

La iluminancia normal, de acuerdo con (51.4) es:

$$E_n = \frac{I_\varphi}{d^2} \qquad (51.14)$$

Donde:

I_φ = Intensidad luminosa que emite el foco **F** bajo el ángulo φ.
d = Distancia del foco **F** al punto **P**.

Desde el punto de vista práctico, la iluminación normal sólo se considerará cuando el punto esté situado en el pie de la perpendicular al plano de referencia trazada desde el foco **F**, es decir el punto **P'** de la Fig.51.5.

En este caso se verifica:

$$E_n = \frac{I}{h^2} \qquad (51.15)$$

En los demás casos, se calculará el valor de la iluminación en los puntos situados en el plano horizontal (como por ejemplo el suelo) y en los puntos situados en un plano vertical (como por ejemplo la pared). En consecuencia, se hará referencia a las iluminaciones horizontales y verticales. En estos casos se parte de los siguientes datos:

Iluminación horizontal:

h = altura del foco **F** sobre el plano horizontal.
φ = ángulo formado por la dirección considerada, con la altura **h**.

Iluminación vertical:

h = altura del foco **F** sobre el plano horizontal.
φ = ángulo formado por la dirección considerada, con la altura **h**.
a = distancia del píe de la perpendicular del foco, al plano al plano vertical.

Teniendo en cuenta (51.7), la iluminancia horizontal es:

$$E_h = \frac{I_\varphi}{d^2}.\cos\ \varphi \qquad (51.16)$$

Ahora bien, de acuerdo con la Fig.51.5, se tiene:

$$d = \frac{h}{\cos\ \varphi} \qquad (51.17)$$

Sustituyendo (51.17) en (51.6), resulta:

$$E_h = \frac{I_\varphi}{h^2}.\cos^3\ \varphi \qquad (51.18)$$

Para la iluminación vertical se verifica:

$$E_v = E_n.\cos\ \alpha \qquad (51.19)$$

$$siendo:\ \alpha = \frac{\pi}{2} - \varphi \qquad (51.20)$$

Teniendo en cuenta (51.14), la expresión (51.20) se convierte en:

$$E_v = \frac{I_\varphi}{d^2}.sen\ \varphi \qquad (51.21)$$

Sustituyendo (51.17) en (51.21), resulta:

$$E_v = \frac{I_\varphi}{h^2}.\cos^2\ \varphi.sen\ \varphi \qquad (51.22)$$

La iluminación vertical se puede expresar en función de la distancia del foco **F** al plano vertical. En efecto, de acuerdo con la Fig.51.5, tenemos:

$$d = \frac{a}{sen\ \varphi} \qquad (51.23)$$

Por tanto, sustituyendo (51.23) en (51.21), resulta:

$$E_v = \frac{I_\varphi}{a^2}.sen^3\ \varphi \qquad (51.24)$$

Cuando en un proyecto de iluminación se necesite conocer la iluminación horizontal y vertical, se puede calcular la iluminación verticales $\mathbf{E_v}$ a partir de las horizontal $\mathbf{E_h}$, sin más que dividir (51.24) y (51.18).

$$E_v = E_h.tang\ \varphi \qquad (51.25)$$