

# MAGNITUDES LUMINOSAS

5.1.	Flujo luminoso (Potencia luminosa) .....	47
5.2.	Cantidad de luz (Energía luminosa) .....	48
5.3.	Intensidad luminosa .....	48
5.4.	Illuminancia (Nivel de Iluminación) .....	49
5.5.	Luminancia .....	49
5.6.	Otras magnitudes luminosas de interés .....	51
5.7.	Representación gráfica de magnitudes luminosas .....	52
5.8.	Cuadro resumen de las magnitudes .....	56



En la técnica de la iluminación intervienen dos elementos básicos: la fuente productora de luz y el objeto que se va a iluminar.

En este capítulo vamos a ver las magnitudes y unidades de medida fundamentales, empleadas para valorar y comparar las cualidades y los efectos de las fuentes de luz.

## 5.1. Flujo luminoso (Potencia luminosa)

La energía transformada por los manantiales luminosos no se puede aprovechar totalmente para la producción de luz. Por ejemplo, una lámpara incandescente consume una determinada energía eléctrica que transforma en energía radiante, de la cual sólo una pequeña parte (alrededor del 10%) es percibida por el ojo humano en forma de luz, mientras que el resto se pierde en calor.

El flujo luminoso que produce una fuente de luz es la cantidad total de luz emitida o radiada, en un segundo, en todas las direcciones. De una forma más precisa, se llama **flujo luminoso** de una fuente a la *energía radiada que recibe el ojo medio humano según su curva de sensibilidad y que transforma en luz durante un segundo*.

El flujo luminoso se representa por la letra griega  $\Phi$  y su unidad es el **lumen** (lm). El lumen es el flujo luminoso de la radiación monocromática que se caracteriza por una frecuencia de valor  $540 \cdot 10^{12}$  Hz, y por un flujo de energía radiante de 1/683 W. Un watio de energía radiante de longitud de onda de 555 nm. en el aire equivale a 683 lm aproximadamente.

### Medida del flujo luminoso

La medida del flujo luminoso se realiza en el laboratorio por medio de un fotoelemento ajustado según la curva de sensibilidad fotópica del ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporado a una esfera hueca a la que se le da el nombre de *Esfera de Ulbricht* (Fig. 1), y en cuyo interior se coloca la fuente a medir. Los fabricantes dan el flujo de las lámparas en lúmenes para la potencia nominal.



Figura 1. Esfera de Ulbricht.

### Rendimiento luminoso (Eficacia luminosa)

El rendimiento luminoso de una fuente de luz, indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención.

Se representa por la letra griega  $\epsilon$ , siendo su unidad el **lumen/watio** (lm/W).

La fórmula que expresa la eficacia luminosa es:

$$\epsilon = \frac{\Phi}{P} \quad (\text{lm/W})$$

Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas toda la potencia eléctrica consumida en luz a una longitud de onda de 555 nm., esta lámpara tendría el mayor rendimiento posible, cuyo valor sería 683 lm/W.

## 5.2. Cantidad de luz (Energía luminosa)

De forma análoga a la energía eléctrica que se determina por la potencia eléctrica en la unidad de tiempo, la cantidad de luz o energía luminosa se determina por la potencia luminosa o flujo luminoso emitido en la unidad de tiempo.

La cantidad de luz se representa por la letra **Q**, y su unidad es el **lumen por hora** (lm · h).

La fórmula que expresa la cantidad de luz es:

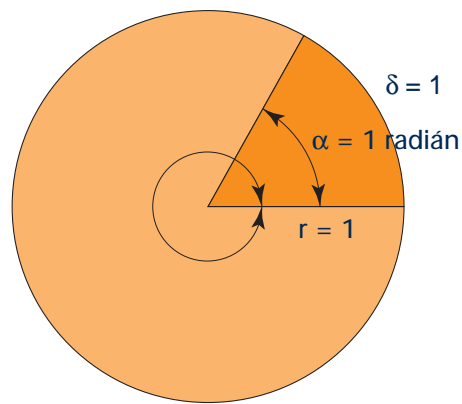
$$Q = \Phi \cdot t \quad (\text{lm} \cdot \text{h})$$

## 5.3. Intensidad luminosa

Esta magnitud se entiende únicamente referida a una determinada dirección y contenida en un ángulo sólido  $\omega$ .

Al igual que a una magnitud de superficie corresponde un ángulo plano que se mide en radianes, a una magnitud de volumen le corresponde un ángulo sólido o estereorradianes.

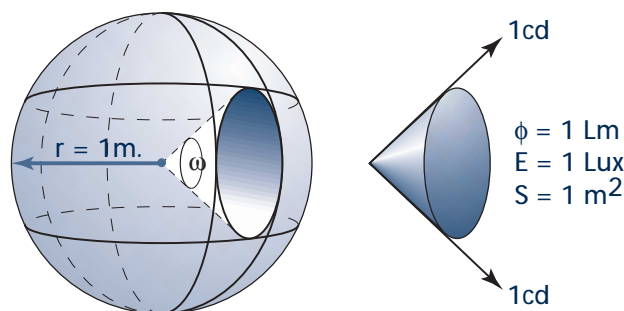
El radián se define como el ángulo plano que corresponde a un arco de circunferencia de longitud igual al radio (Fig. 2).



$$\alpha \text{ (total)} = 2 \pi \text{ radianes}$$

Figura 2. Ángulo plano.

El estereorradián se define como el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera (Fig. 3).



$$\omega \text{ (total)} = 4\pi \text{ estereorradianes}$$

Figura 3. Ángulo sólido.

La intensidad luminosa de una fuente de luz es igual al flujo emitido en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa dirección.

Su símbolo es **I**, su unidad es la **candela** (cd), y la fórmula que la expresa:

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (\text{lm/sr})$$

La candela se define como *la intensidad luminosa de una fuente puntual que emite un flujo luminoso de un lumen en un ángulo sólido de un estereorradián (sr)*.

Según el S.I.\*, también se define candela como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia  $540 \cdot 10^{12}$  Hz y cuya intensidad energética en dicha dirección es 1/683 vatios por estereorradián.

## 5.4. Iluminancia (Nivel de iluminación)

La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie es la *relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie y su área*. Se simboliza por la letra **E**, y su unidad es el **lux** (lx).

La fórmula que expresa la iluminancia es:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2)$$

Se deduce de la fórmula que cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminancia, y que, para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será tanto mayor en la medida en que disminuya la superficie.

Según el S.I., el lux se define como *la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de un lumen, repartido sobre un metro cuadrado de superficie*.

### Medida del nivel de iluminación

La medida del nivel de iluminación se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro, de forma analógica o digital, calibrado directamente en lux (Fig. 4).



Figura 4. Luxómetro.

## 5.5. Luminancia

Se llama Luminancia al *efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, tanto si procede de una fuente primaria que produce luz, como si procede de una fuente secundaria o superficie que refleja luz*.

La luminancia mide brillo de las fuentes luminosas primarias y de las fuentes que constituyen los objetos iluminados. Este término ha sustituido a los conceptos de brillo y densidad de iluminación, aunque como concepto nos interesa recordar que el ojo no ve colores sino brillo, como atributo del color. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias. Se puede decir, por lo tanto, que el ojo ve diferencias de luminancias y no de iluminación (a igual iluminación, diferentes objetos tienen luminancia distinta porque tienen distinto poder de reflexión).

La luminancia de una superficie iluminada es el cociente entre la *intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección*.

\* S.I. ⇒ Sistema Internacional.

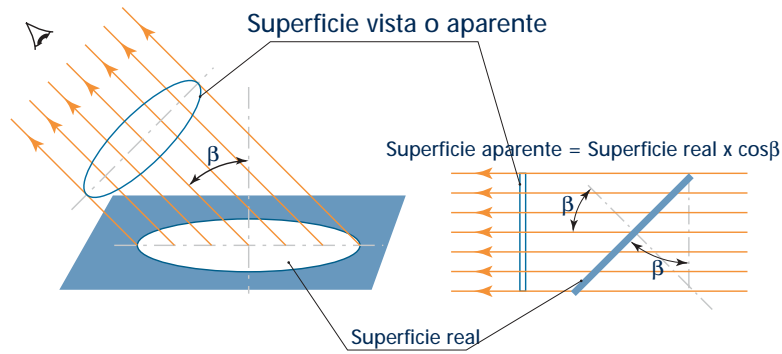


Figura 5. Luminancia de una superficie.

El área proyectada es la vista por el observador en la dirección de observación. Se calcula multiplicando la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad luminosa (Fig. 5).

Se representa por la letra L, siendo su unidad la candela/metro cuadrado llamada "nit (nt)", con un submúltiplo, la candela/centímetro cuadrado o "stilb", empleada para fuentes con elevadas luminancias.

$$1 \text{ nt} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ m}^2} \quad ; \quad 1 \text{ stilb} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ cm}^2}$$

La fórmula que la expresa es la siguiente:

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos\beta}$$

donde:

$S \cdot \cos\beta$  = Superficie aparente.

La luminancia es independiente de la distancia de observación.

### Medida de la luminancia

La medida de la luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luminancímetro o nitómetro. Se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición (Fig. 6).

El de dirección se orienta de forma que la imagen coincida con el punto a medir, la luz que llega una vez orientado se ve convertida en corriente eléctrica y recogida en lectura analógica o digital, siendo los valores medidos en  $\text{cd}/\text{m}^2$ .



Figura 6. Luminancímetro.

## 5.6. Otras magnitudes luminosas de interés

### 5.6.1. Coeficiente de utilización

Relación entre el flujo luminoso recibido por un cuerpo y el flujo emitido por una fuente luminosa.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $\eta$

Relación  $\Rightarrow$   $\eta = \frac{\Phi}{\Phi_e}$

### 5.6.2. Reflectancia

Relación entre el flujo reflejado por un cuerpo (con o sin difusión) y el flujo recibido.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $\rho$

Relación  $\Rightarrow$   $\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi}$

### 5.6.3. Absortancia

Relación entre el flujo luminoso absorbido por un cuerpo y el flujo recibido.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $\alpha$

Relación  $\Rightarrow$   $\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi}$

### 5.6.4. Transmitancia

Relación entre el flujo luminoso transmitido por un cuerpo y el flujo recibido.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $\tau$

Relación  $\Rightarrow$   $\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi}$

### 5.6.5. Factor de uniformidad media

Relación entre la iluminación mínima y la media, de una instalación de alumbrado.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $U_m$

Relación  $\Rightarrow$   $U_m = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}}$

### 5.6.6. Factor de uniformidad extrema

Relación entre la iluminación mínima y máxima, de una instalación de alumbrado.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $U_e$

Relación  $\Rightarrow$   $U_e = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$

### 5.6.7. Factor de uniformidad longitudinal

Relación entre la luminancia mínima y máxima longitudinal, de una instalación de alumbrado.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $U_L$

Relación  $\Rightarrow$   $U_L = \frac{L_{\min \text{ longitudinal}}}{L_{\max \text{ longitudinal}}}$

### 5.6.8. Factor de uniformidad general

Relación entre la luminancia mínima y media, de una instalación de alumbrado.

Unidad  $\Rightarrow$  %

Símbolo  $\Rightarrow$   $U_0$

Relación  $\Rightarrow$   $U_0 = \frac{L_{\min}}{L_{\text{med}}}$

### 5.6.9. Factor de mantenimiento

Coefficiente que indica el grado de conservación de una instalación.

Unidad ⇒ %

Símbolo ⇒  $F_m$

Relación ⇒  $F_m = F_{pl} \cdot F_{dl} \cdot F_t \cdot F_e \cdot F_c$

$F_{pl}$  = factor posición lámpara

$F_{dl}$  = factor depreciación lámpara

$F_t$  = factor temperatura

$F_e$  = factor equipo de encendido

$F_c$  = factor conservación de la instalación

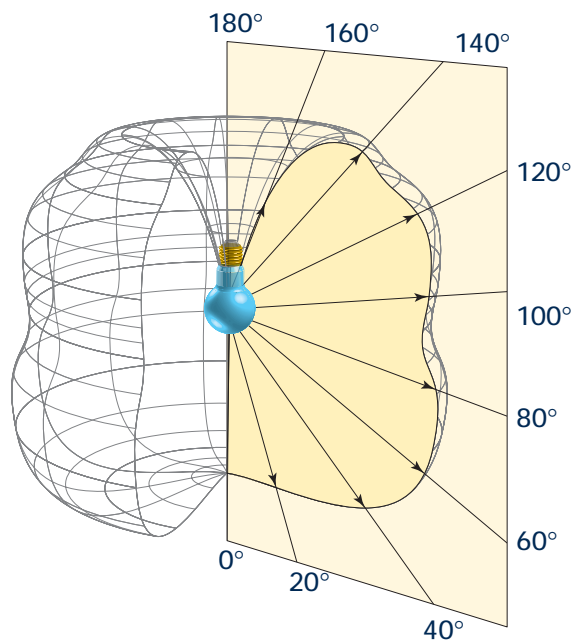
## 5.7. Representación gráfica de magnitudes luminosas

El conjunto de la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones constituye lo que se conoce como *distribución luminosa*. Las fuentes de luz utilizadas en la práctica tienen una superficie luminosa más o menos grande, cuya intensidad de radiación se ve afectada por la propia construcción de la fuente, presentando valores diversos en las distintas direcciones.

Con aparatos especiales (como el Goniofotómetro) se puede determinar la intensidad luminosa de una fuente de luz en todas las direcciones del espacio con relación a un eje vertical. Si representamos por medio de vectores ( $I$ ) la intensidad luminosa de una fuente de luz en las infinitas direcciones del espacio, engendramos un volumen que representa el valor del flujo total emitido por la fuente, el cual viene definido por la expresión:

$$\Phi = \int_V \vec{I} \cdot d\vec{\omega}$$

El sólido que obtenemos recibe el nombre de sólido fotométrico. En la Fig. 7 se puede apreciar el *sólido fotométrico* de una lámpara incandescente.



**Figura 7.** Sólido fotométrico de una lámpara incandescente.

Si hacemos pasar un plano por el eje de simetría de la fuente luminosa, por ejemplo, un plano meridional, obtenemos una sección limitada por una curva que se denomina *curva fotométrica* o curva de distribución luminosa (Fig. 8).



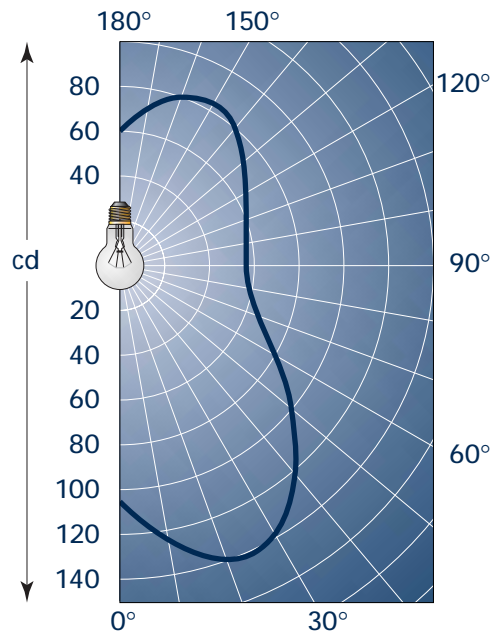


Figura 8. Curva fotométrica de una lámpara incandescente.

Mediante la curva fotométrica de una fuente de luz se puede determinar con exactitud la intensidad luminosa en cualquier dirección, dato necesario para algunos cálculos de iluminación.

Las direcciones del espacio por las cuales se radia una intensidad luminosa las podemos determinar por dos coordenadas. Uno de los sistemas de coordenadas más usado para la obtención de curvas fotométricas es el "C -  $\gamma$ " que podemos ver en la Fig. 9.

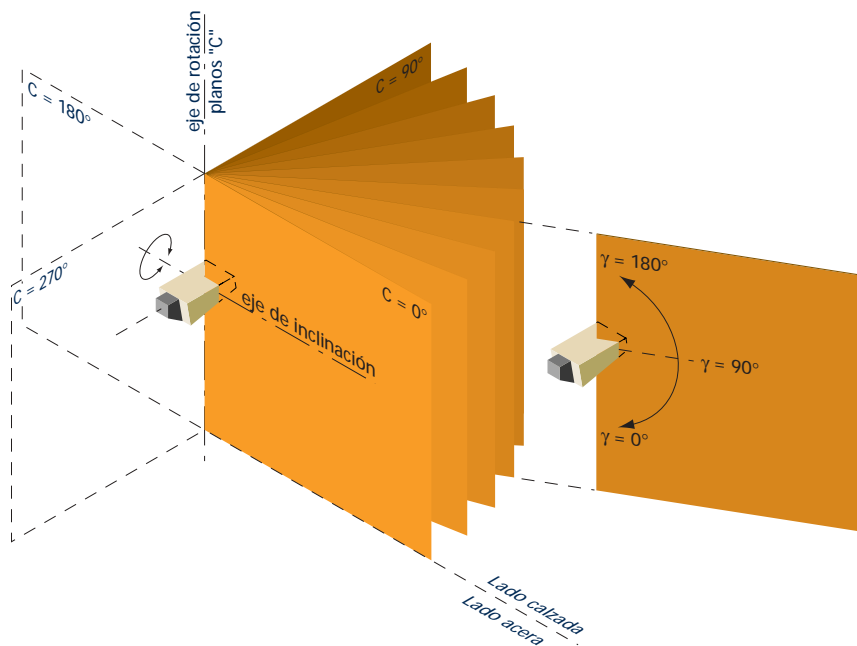


Figura 9. Sistema de coordenadas C -  $\gamma$ .

Las curvas fotométricas se dan referidas a un flujo luminoso emitido de 1.000 lm. y, como el caso más general es que la fuente de luz emita un flujo superior, los valores de la intensidad luminosa correspondientes se hallan mediante una regla de tres simple.

Cuando alojamos una lámpara en un reflector, se distorsiona su flujo proporcionando un volumen cuya forma es distinta, ya que depende de las características propias del reflector. Por consiguiente, las curvas de distribución según los distintos planos son diferentes.

En las dos siguientes figuras podemos ver dos ejemplos en los que se han representado las curvas de distribución de dos reflectores.

El de la Fig.10 es simétrico, y tiene idénticas curvas para cualquiera de los planos meridionales, por lo que una sola curva es suficiente para su identificación fotométrica. El ejemplo de la Fig. 11 es asimétrico y cada plano tiene una curva diferente, por lo que es necesario conocer todos los planos.

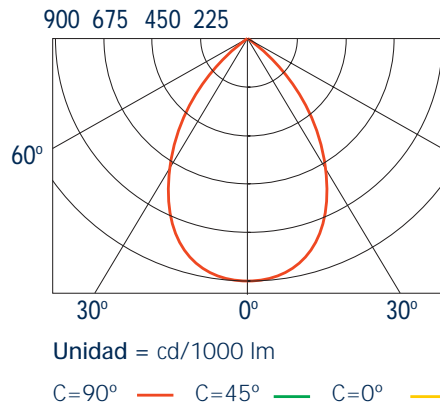


Figura 10. Curva de distribución fotométrica simétrica.

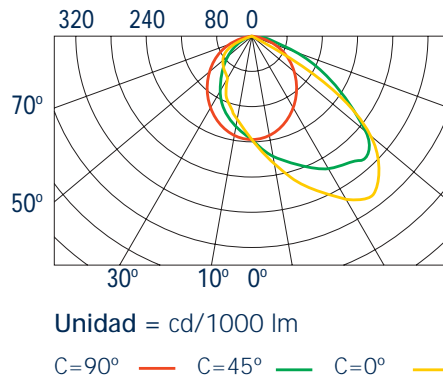


Figura 11. Curva de distribución fotométrica asimétrica.

Otro método de representar la distribución del flujo luminoso es el diagrama de *curvas isocandelas* (Fig. 12) el cual consiste en imaginar la luminaria en el centro de una esfera en cuya superficie exterior se unen por una línea los puntos de igual intensidad (curvas isocandelas). Generalmente las luminarias tienen como mínimo un plano de simetría, por lo que se desarrolla solamente una semiesfera.

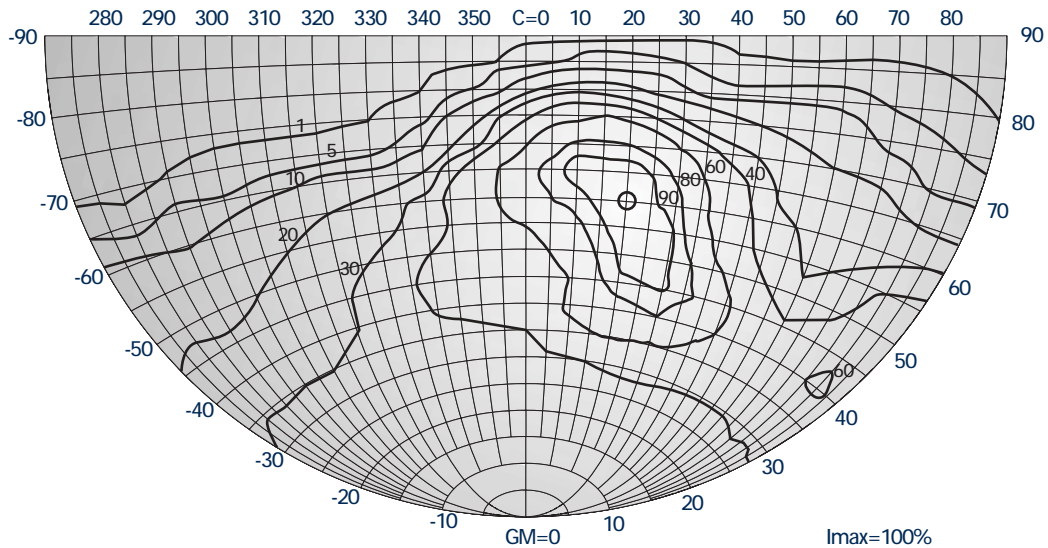


Figura 12. Curvas isocandelas.

Esta forma de representación es mucho más completa, pero tiene el inconveniente de que se necesita una mayor experiencia para su interpretación.

El flujo emitido por una fuente luminosa proporciona una iluminación (iluminancia) en una superficie, cuyos valores se miden en lux. Si proyectamos estos valores sobre un mismo plano y unimos por medio de una línea los de igual valor, entonces daremos lugar a las curvas isolux (Fig. 13).

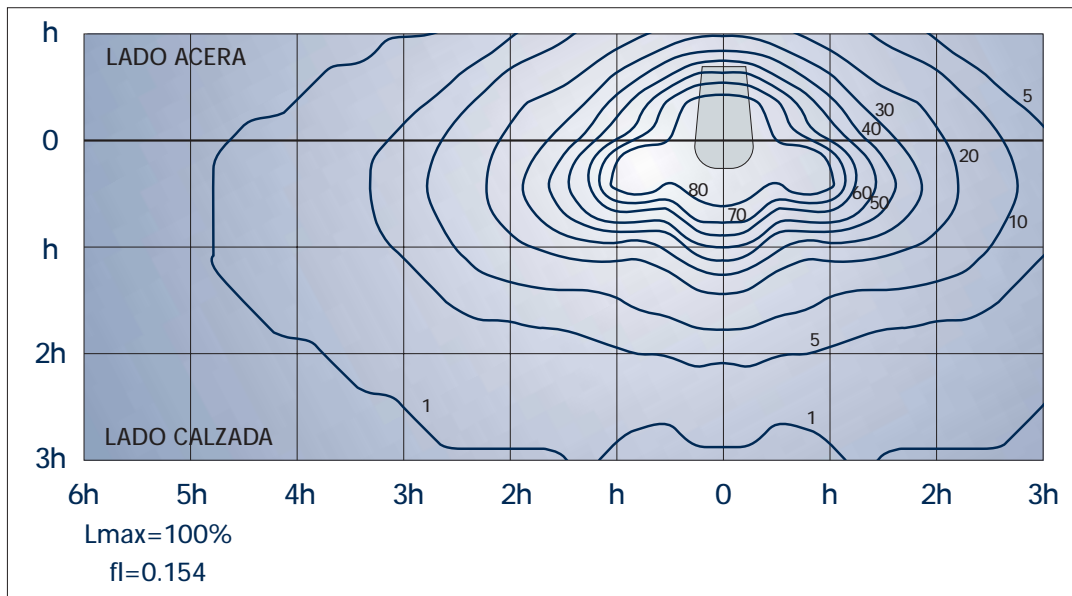


Figura 13. Curvas isolux.

Por último tenemos las luminancias, que dependen del flujo luminoso reflejado por una superficie en la dirección del observador. Los valores se miden en candelas por metro cuadrado ( $cd/m^2$ ) y su representación nos viene dada por las *curvas isoluminancias* (Fig. 14).

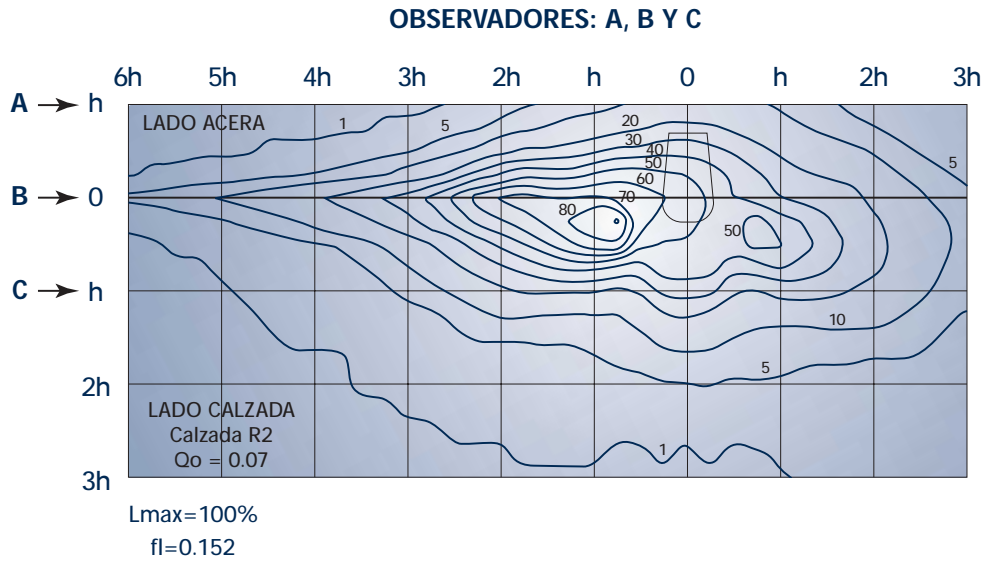


Figura 14. Curvas isoluminancias.

### 5.8. Cuadro resumen de las magnitudes

Magnitud	Símbolo	Unidad	Relaciones
Flujo Luminoso	$\Phi$	Lumen (lm)	$\Phi = I \cdot \omega$
Eficacia Luminosa	$\epsilon$	Lumen por watio (lm/W)	$\epsilon = \frac{\Phi}{P}$
Cantidad de luz	$Q$	Lumen hora (lm · h)	$Q = \Phi \cdot t$
Intensidad luminosa	$I$	Candela (cd) (cd = lm/sr)	$I = \frac{\Phi}{\omega}$
Illuminancia	$E$	Lux (lx) (lx = lm/m <sup>2</sup> )	$E = \frac{\Phi}{S}$
Luminancia	$L$	Nit = cd/ m <sup>2</sup> Stilb = cd/cm <sup>2</sup>	$L = \frac{I}{S \cdot \cos\beta}$
Coefficiente iluminación	$\eta$	%	$\eta = \frac{\Phi}{\Phi_e}$
Reflectancia	$\rho$	%	$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi}$
Absortancia	$\alpha$	%	$\alpha = \frac{\Phi_a}{\Phi}$
Transmitancia	$\tau$	%	$\tau = \frac{\Phi_t}{\Phi}$
Factor uniformidad media	$U_m$	%	$U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$
Factor uniformidad extrema	$U_e$	%	$U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}}$
Factor de uniformidad longitudinal	$U_L$	%	$U_L = \frac{L_{min \text{ longitudinal}}}{L_{max \text{ longitudinal}}}$
Factor de uniformidad general	$U_0$	%	$U_0 = \frac{L_{min}}{L_{med}}$
Factor mantenimiento	$F_m$	%	$F_m = F_{pl} \cdot F_{dl} \cdot F_t \cdot F_e \cdot F_c$

Tabla 1. Resumen de las magnitudes luminosas.