

LUMINOTECNIA:

Cálculo del nivel de iluminación en un punto

Profesores: Castilla Cabanes, Nuria (ncastilla@csa.upv.es)
Blanca Giménez, Vicente (vblanca@csa.upv.es)
Martínez Antón, Alicia (almaran@csa.upv.es)
Pastor Villa, Rosa María (ropasvil@csa.upv.es)

Departamento: Construcciones Arquitectónicas

Centro: E.T.S. Arquitectura

1. RESUMEN

En este artículo vamos a exponer el método del punto por punto para establecer el nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical.

Se debe conocer antes cuál es la distancia a la que se debe de colocar la luminaria para que la ilumine correctamente y el ángulo que forma con la vertical así como el tipo de lámpara y luminaria que se utiliza, de manera que se pueda evaluar si da el nivel de iluminación adecuado o no.

2. OBJETIVOS

Una vez leas con detenimiento este documento, serás capaz de calcular la distancia a la que debes situar una luminaria para iluminar adecuadamente una superficie vertical, comprobar que el nivel de iluminación es el apropiado en un punto concreto de esa superficie y evaluar si la luminaria que has elegido es la correcta o no, todo ello mediante la utilización del método de cálculo de iluminación conocido como el **método del punto por punto**, sabiendo que dicho procedimiento sólo permite obtener valores del nivel de iluminación en puntos del espacio.

3. INTRODUCCIÓN

Una buena iluminación puede llegar a conseguir que los lugares en los que vivimos y trabajamos se conviertan en algo más que un simple lugar de trabajo u ocio. Gracias a un buen diseño lumínico se pueden crear ambientes más que agradables, casi mágicos, sin por ello nunca olvidar que las instalaciones sean energéticamente sostenibles.

Los factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una instalación y que definen la calidad de una iluminación son los siguientes¹:

- 1 Nivel de iluminación: iluminancias que se necesitan (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie)*
- 2 Distribución de luminancias en el campo visual.*
- 3 Limitación de deslumbramiento.*
- 4 Modelado: limitación del contraste de luces y sombras creado por el sistema de iluminación.*
- 5 Color: color de la luz y la reproducción cromática*
- 6 Estética: selección del tipo de iluminación, de las fuentes de luz y de las luminarias.*

Si se siguen todos estos parámetros se conseguirá un buen diseño lumínico, siempre teniendo en cuenta que la elección adecuada de cantidad y calidad de la iluminación va en función del espacio que se va a iluminar y de la actividad que él se realizará.

Saber comprobar en un determinado espacio si el nivel de iluminación es adecuado o no, se convierte en una tarea fundamental del arquitecto si quiere conseguir espacios grandiosos lumínicamente hablando.

4. DESARROLLO

Después de leer este documento, enseguida comprenderás la trascendencia de obtener el nivel de iluminación. Es un procedimiento que seguro tendrás que realizar cuando llegues a la vida laboral ya

¹ Blanca Jiménez, Vicente, Aguilar Rico, Mariano. Iluminación y color. Ed. UPV, Valencia, 1995.

que tendrás que saber si los niveles de iluminación en los espacios que proyectes son los adecuados.

Una vez vista la importancia de ser capaz de conseguir el nivel de eficiencia energética, es recomendable que recuerdes cuales son los elementos básicos que forman parte de un sistema de iluminación:

- 1 La fente de luz o tipo de lámpara utilizada: incandescente, fluorescente, descarga en gas...
- 2 La luminaria. Controla el flujo luminoso emitido por la fuente y, en su caso, evita o minimiza el deslumbramiento.
- 3 Los sistemas de control y regulación de la luminaria.

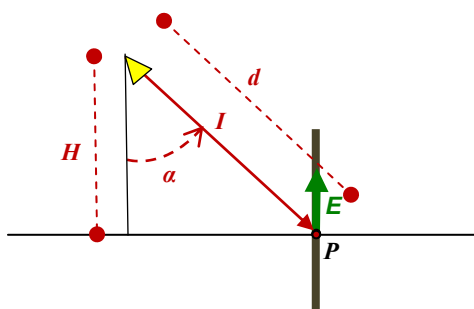
Una vez reconocidos estos elementos ya puedes comenzar el cálculo para saber si el nivel de iluminación es el adecuado.

Recuerda que para realizar el proceso de cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, puedes utilizar dos métodos:

1. **Método de los Lúmenes, también denominado, Sistema General o Método del Factor de utilización,**
El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de $\pm 5\%$ y nos da una idea muy aproximada de las necesidades de iluminación.
2. **Método del punto por punto (o de iluminancias puntuales):**
Este método se utiliza si lo que deseas es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

En este caso, el método al que vas a utilizar es el método del punto por punto ya que vas a calcular el nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical. Ten siempre en cuenta que este método **se puede utilizar con fuentes de luz puntuales como las lámparas incandescentes y de descarga pero no con tubos fluorescentes.**

La fórmula que vas a emplear es la siguiente:



$$E = \frac{I \cdot \text{sen} \alpha}{d^2}$$

Ecuación 1. Nivel de iluminación en un punto

Fig. 1. Esquema de conjunto.

(Fijate en la posición de la luminaria respecto al plano vertical)

Donde:

- E = nivel de iluminación en un punto de una superficie (en LUX)
I = intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente. Puede obtenerse de los diagramas polares de la luminaria o de la matriz de intensidades que generalmente proporciona el fabricante de luminarias (en candelas)
 α = ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical que pasa por la luminaria
H = altura del plano de trabajo a la lámpara (en m).
d = distancia de la lámpara al punto.

Es importante que no olvides la estructura que has de seguir para determinarlo con éxito.

Los pasos para el CÁLCULO DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN son los siguientes:

- 1. Calcular la distancia e de la pared al punto de colocación de la luminaria.**
- 2. Comprobación del nivel de iluminación.**
 - 2.1. Determinación del valor de α
 - 2.2. Cálculo del valor de I (intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente).
 - 2.3. Determinación de d , distancia " d " al centro del cuadro (en metros).
 - 2.4. Determinación de E , nivel de iluminación (en lux).
 - 2.5. Comprobación del nivel de iluminación.
- 3. Evaluación de la adecuación de la luminaria, en base a los dos puntos anteriores.**

Después de tener claro el esquema, te proponemos un ejemplo que tienes que ir haciendo paso a paso. En él se desarrollan con más claridad los puntos anteriores.

Ejemplo de cálculo:

Vas a realizar una exposición temporal de pintura en una de las salas de un Museo de Arte Contemporáneo. La sala tiene una altura total de 2,5 m.

Tienes que iluminar correctamente un cuadro que tiene unas dimensiones de 90 x 90 cm. El centro del cuadro lo dispones a 1,60 m del suelo de la sala. Quieres utilizar una luminaria tipo proyector con lámparas halógenas dispuesta sobre raíles electrificados.
(Los datos de la luminaria los encontrarás adjuntados en el ejemplo).

Para analizar si estás iluminando correctamente los cuadros, tienes que comprobar estos tres aspectos:

1. Que la distancia " e " de la pared, donde colocas el cuadro, al punto donde instalas la luminaria es la correcta. *Dato: la luminaria ha de formar un ángulo α de 30° con la vertical para evitar reflejos.*
2. Que el nivel de iluminación sobre el centro del cuadro es el adecuado, en este caso, ha de ser mayor o igual a 500 lux.
3. Que la luminaria elegida es la correcta o no porque ilumina con los niveles de iluminación deseados en el centro del cuadro.

Cuando termines con este ejemplo vas a ser capaz de:

1. Calcular la distancia a la que debes situar una luminaria para iluminar adecuadamente un cuadro (ó una superficie vertical).
2. Comprobar que el nivel de iluminación es el apropiado en un punto concreto de una superficie vertical.
3. Evaluar si la luminaria que has elegido es la correcta o no, gracias los dos puntos anteriores.

Ahora que ya sabes lo que vas a ser capaz al final de este ejemplo.

1º. Empieza calculando la distancia e de la pared al punto de colocación de la luminaria:

Es importante que hagas un dibujo como el que ves en la figura, basándote en la Figura 1.

Si te fijas bien, en realidad, lo que tienes es un triángulo. De este modo, si aplicas los conocimientos que ya posees de trigonometría, puedes ver como la distancia e a la que tendrás que separar el riel donde se coloca la luminaria de la pared, te viene dada por la expresión:

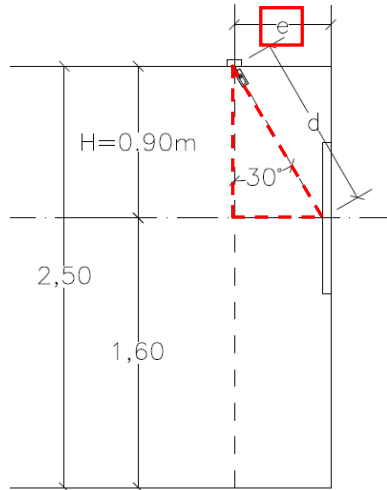


Fig. 2. Esquema del problema

$$\tan g\alpha = \frac{e}{H}$$

Ecuación 2. Cálculo del ángulo α

$\alpha = 30^\circ$. Dato: la luminaria ha de formar un de 30° con la vertical para

$H = 0,90$ m. Es la altura hasta la pared porque colocas el cuadro a 1,60 m del

Si sustituyes estos valores en la expresión:

$$\tan 30^\circ = \frac{e}{0,90} \rightarrow e = 0,52 \text{ m}$$

Ahora, ya has calculado que la distancia a la que has de situar la luminaria es a 0,52 m. de la pared donde está situado el cuadro.

2º. Comprueba que el nivel de iluminación es el apropiado en el centro del cuadro ($\geq 500\text{lux}$)

Empieza releiendo el enunciado del problema y analizando la *Figura 2*. Después de haber hecho esto, te das cuenta como el cuadro está sobre una pared, o lo que es lo mismo, sobre una superficie vertical.

Como necesitas calcular el nivel de iluminación en un punto, para comprobar si es el apropiado o no, acuérdate que debes utilizar el método del punto por punto, en concreto, cuando se descompone en una superficie vertical. Ves al principio del punto 4. *Desarrollo* para recordar todo el método.

A la hora de aplicar este método es importante que tengas en cuenta lo que ya se ha comentado: **su utilización se limita a conocer la iluminancia en puntos concretos.**

Esto te lleva a ver claramente que la fórmula que has de utilizar es la que has visto inicialmente. Presta atención de nuevo a la *Figura 1* y apúntate la *Ecuación 1*.

Si observas de nuevo la fórmula que te has apuntado, advertirás que para obtener el nivel de iluminación (E) has de averiguar algunos datos:

$$E = \frac{I \cdot \text{sen}\alpha}{d^2}$$

Ecuación 1. Nivel de iluminación en un punto

Para calcularlos, sigue los siguientes apartados:

2.1. Determina el valor de α

$\alpha = 30^\circ$. Dato: la luminaria ha de formar un ángulo α de 30° con la vertical para evitar reflejos.

2.2. Deduce el valor de I (intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente).

Para establecerlo, antes tienes que buscar la información que requieres de la luminaria.

Recuerda que has de elegir la luminaria más adecuada a cada caso concreto. Para ello habrás de consultar los catálogos online de los distintos fabricantes de luminarias técnicas. Toda la información que necesitas la puedes buscar allí. No tienes más remedio que recurrir a ellos ya que cada luminaria, según como esté fabricada, modificará el flujo de la lámpara que tiene dentro.

En tu caso, si te fijas en el enunciado del ejemplo, la luminaria ya la tienes elegida, es un **proyector sobre raíles electrificados** con lámparas halógenas de bajo voltaje.

Las figuras que vas a ver a continuación se han descargado de la página web del fabricante. En concreto del apartado Fichas con datos de los productos que nos proporciona la casa comercial ERCO en su apartado de descargas. www.erco.com.

No olvides que puedes elegir cualquier otra casa comercial y es el fabricante el que te tiene que dar sus datos.

Para determinar el valor de I , sigue los siguientes apartados:

a. Averigua el tipo de lámpara que tiene tu luminaria.

El fabricante siempre te informará del tipo de lámpara que se instala en tu luminaria. Tienes que buscar ese dato en su página web.

En tu ejemplo, los datos son los siguientes²:



Fig 5. Imagen de la luminaria

73220.000 Plateado

QR-CBC51-RE 50W 12V GU5.3 60°

Tipo de lámpara: Halógena de bajo voltaje

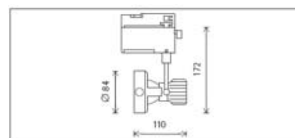


Fig 3. Dimensiones de la luminaria

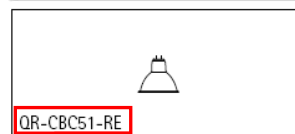


Fig 4. Datos y figura de la lámpara

Una vez que ya tienes claro el tipo de lámpara que tiene la luminaria:

²http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloaddat_dltut_1.php?action=star_tseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

Puedes bajarte el pdf si quieres seguir el ejemplo con más precisión: Luminaria: Gimbal para raíles electrificados→es_1_erco_73220_000.pdf →Gimbal Proyector con transadapter para lámparas halógenas de bajo voltaje

b. Averigua el flujo que tiene la lámpara.

Este dato también te lo da el fabricante.

El flujo siempre viene expresado en lúmenes (lm), por tanto, busca un valor que acabe en lm.




| Starpoint Downlight para lámparas halógenas de bajo voltaje ³ | | | | | |
|---|---|---|---|-----------------|-----------|
|  |  |  | QR-CBC51-RE | 50 W | 89221.000 |
| | | | Lámpara halógena reflectora de bajo voltaje | 1.200 lm | |

Fig 6. Datos de la lámpara

En este caso, la luminaria contiene una lámpara halógena de bajo voltaje cuyo flujo luminoso $\Phi = 1.200 \text{ lm}$.

c. Encuentra la curva fotométrica o curva de distribución luminosa.

Generalmente, se encuentra en los datos de la luminaria⁴:

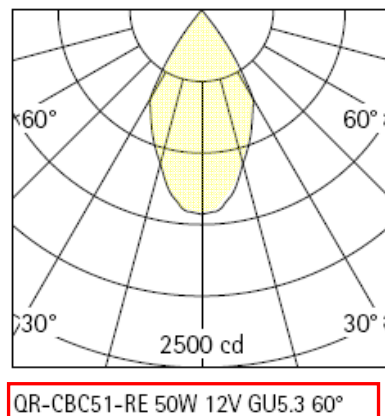


Fig 7. Curva de distribución luminosa

La curva de distribución luminosa muestra cómo se distribuye la intensidad luminosa de la lámpara en la luminaria que se analiza.

Vuelve a la *Fig. 6.*, fijate en los datos de la lámpara (recuadrados en rojo).

Comprueba que la lámpara es la misma tanto en esos datos como en los de la curva de distribución luminosa que has elegido en la *Fig. 7.*

³http://www.erco.com/products/indoor/recessed_c_l/starpoint_141/es/es_starpoint_artic_1.php?TU=1&LANG=1034&PROG=321&STYLE=F&PAR1=408&OP1=&PAR8=114&OP8=2

⁴http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloaddat_dltut_1.php?aktion=_star_tseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet

Luminaria: Gimbal para raíles electricados→es_1_erco_73220_000.pdf →Gimbal Proyector con transadapter para lámparas halógenas de bajo voltaje

Si ahora retornas a la *Fig. 5.*, puedes advertir como la luminaria se puede mover libremente.

De esta manera, siempre la puedes colocar enfocando al cuadro, buscando que se quede alineada con su línea de máxima intensidad. Así es como la vas a orientar.

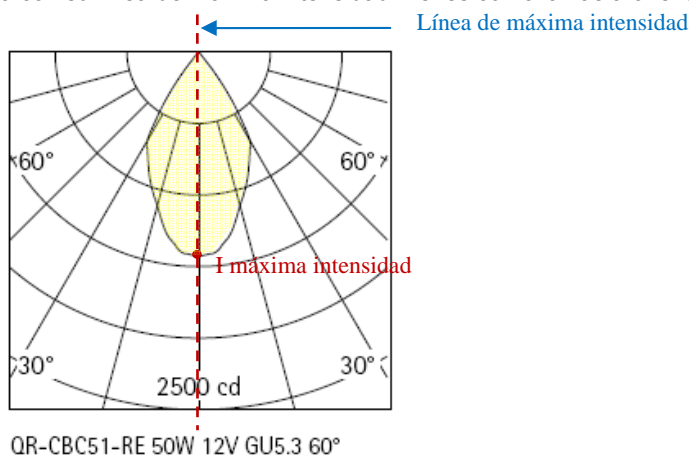


Fig 8. Intensidad máxima en la curva de distribución luminosa

- d. **Calcula, utilizando la curva de distribución luminosa, la intensidad máxima que tienes en el centro del cuadro.**

Una vez tienes orientada la luminaria al centro del cuadro, has de calcular la intensidad que le llega a ese punto. Para ello, tienes que utilizar la curva de distribución luminosa.

Sigue los siguientes pasos:

Paso 1: Entra con una línea recta buscando el punto donde la línea de máxima intensidad corta a la curva de distribución luminosa *Fig. 8.*

Dicho punto, te da el valor de la intensidad en el gráfico ($I_{\text{gráfico}}$) expresada en cd/klm y que en este caso coincide con la Intensidad máxima que da la lámpara ya que así la has orientado antes

Paso 2. Observa como el diagrama marca unos círculos. Cada uno de esos círculos indica la distribución de la intensidad en el gráfico:

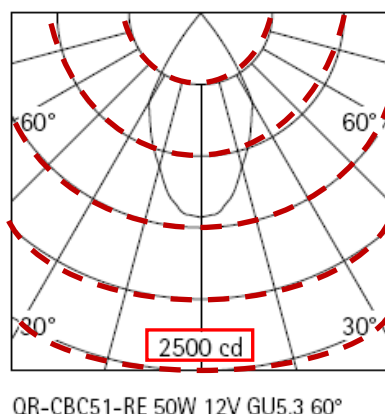


Fig 9. Círculos de distribución de la Intensidad luminosa

Paso 3. Busca en el gráfico algún círculo en el que venga marcada su intensidad.

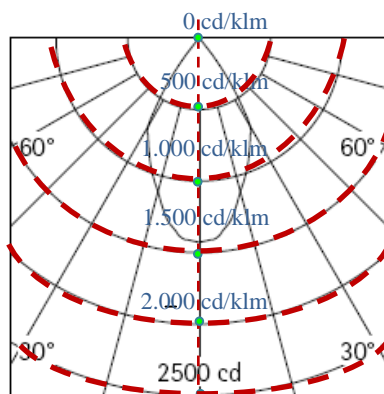
Si regresas a la *Fig 9*, observa como el gráfico te indica que el último círculo posee una intensidad de 2.500 cd/klm. Recuerda: Las curvas de distribución luminosa

están hechas para un flujo de una lámpara de 1000 lm = 1klm. Por lo tanto, la intensidad viene dada en cd/klm.

Paso 4. Averigua cómo se distribuye la intensidad en el gráfico sabiendo los valores de cada círculo. En el punto central superior la intensidad es 0. Divide intensidad que sabes (2.500 cd) por el número de círculos que ves a la *Fig 9*, (5 círculos).

$2.500 / 5 = 500 \text{ cd/klm}$ de círculo a círculo.

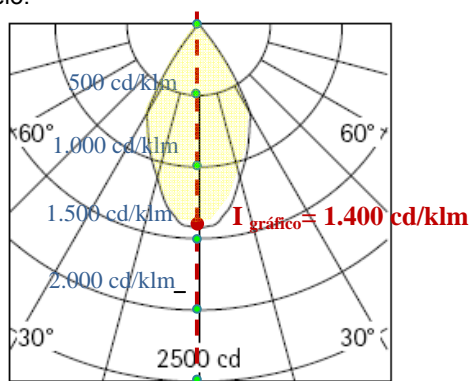
Paso 5. Marca en el gráfico cómo se distribuye la intensidad. Para ello, grafía la que tiene cada círculo y el punto donde corta a la línea de máxima intensidad.



QR-CBC51-RE 50W 12V GU5.3 60°

Fig 10. Valor de cada uno de los círculos de intensidad luminosa.

Paso 6. Averigua el valor de la intensidad máxima. Es el valor del punto de corte entre la curva de distribución luminosa y la línea de máxima intensidad. Márcalo en el gráfico y anótatelo.



QR-CBC51-RE 50W 12V GU5.3 60°

Fig 11. Cálculo de la máxima intensidad

Paso 7. Vuelve a la *Fig. 6*. y anota también el flujo de tu lámpara. El flujo de la lámpara que se tienes es de $\Phi = 1.200 \text{ lm}$.

No olvides que la curva de distribución luminosa está hecha para una lámpara que tiene un flujo de 1 klm = 1.000 lúmenes.

Una vez ya has realizado estos pasos, ya puedes calcular **la intensidad máxima que tienes en el centro del cuadro:**

La I_{real} en candelas (cd) la calculas con los datos anteriores y haciendo una regla de tres. De esta manera, reflejas la diferencia entre tener una lámpara con un flujo de 1000 lm y la lámpara que tienes en realidad con un flujo de 1.200 lm.

$$\Phi_{\text{gráfico}} = 1.000 \text{ lm} \rightarrow I_{\text{gráfico}} = 1.400 \text{ cd}$$

$$\Phi_{\text{real}} = 1.200 \text{ lm} \rightarrow I_{\text{real}} = x \text{ cd}$$

$$I_{\text{real}} = I_{\text{gráfico}} \cdot \Phi_{\text{real}} / \Phi_{\text{gráfico}} = 1.400 \cdot 1.200 / 1.000 = 1.680 \text{ cd.}$$

2.3. Determina d , la distancia " d " al centro del cuadro (en metros).

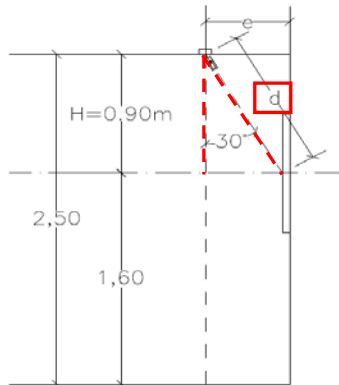


Fig. 2. Esquema del problema

Si vuelves a la Fig. 2, puedes observar cómo esa puedes obtener por trigonometría.

Sustituye los datos que ya tienes y despejando obtienes distancia " d ":

$$H = d \cdot \cos \alpha \rightarrow d = \frac{H}{\cos \alpha} = \frac{0.90}{\cos 30} = \frac{0.90}{0.8660} = 1.04 \text{ m}$$

2.4. Determina E , nivel de iluminación (en lux).

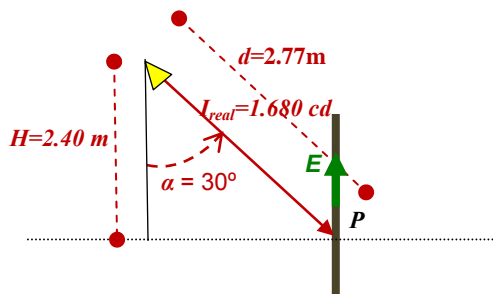


Fig. 3. Esquema de la situación respecto del cuadro.

(Observa la posición de la luminaria respecto al plano vertical)

Como ya posees todos los valores de la Ecuación 1, sustitúyelos en ella para averiguar el Nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical, (expresado en LUX).

$$E = \frac{I \cdot \text{sen} \alpha}{d^2}$$

Ecuación 1. Nivel de iluminación en un punto

De esta manera, sustituye en la ecuación y calcula el nivel de iluminación (E):

$$E = 1.680 \times \text{sen } 30^\circ / 1,04^2 = 1.680 \times 0,5 / 1,08 = 776,63 \text{ lux}$$

2.5. Comprueba que el nivel de iluminación que has calculado en el centro del cuadro es el apropiado ($\geq 500 \text{ lux}$)

En este caso, estás comprobando el nivel de iluminación en el centro del cuadro, es decir, en una superficie vertical, así que compara el valor calcula de E con el requerido de 500 lux.

$$E = \frac{I_{\text{real}} \cdot \text{sen} \alpha}{d^2} \geq E_{\text{requerido}}$$

Ecuación 2. Comprobación del nivel de iluminación en un punto

Sustituye en la ecuación y ya puedes determinar si el nivel de iluminación es adecuado o no:

$$E = 776,63 \text{ lux} \geq 500 \text{ lux} \rightarrow \text{Cumple} \rightarrow \text{Es el apropiado}$$

3º. Evalúa si la luminaria es la correcta o no, gracias los dos puntos anteriores:

$$E = 776,63 \text{ lux} \geq 500 \text{ lux}$$

Esto significa que el nivel de iluminación que has obtenido es mayor que el requerido, con lo cual, tanto la lámpara como la luminaria que tienes en ejemplo son aceptables ya que proporcionan el nivel de iluminación adecuado.

5. CIERRE

En este objeto de aprendizaje has visto cómo se utiliza el método del punto por punto para conocer los valores del nivel de iluminación en puntos concretos de una superficie vertical. De esta manera, puedes evaluar si la luminaria y la lámpara que contiene proporcionan el nivel adecuado o no.

Para comprobar si has aprendido a calcular el nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical y para afianzar los conocimientos obtenidos, te proponemos el siguiente ejercicio:

Con el mismo enunciado, mantén la luminaria que tienes y cambia la lámpara. Utiliza la ahora una lámpara de halogenuros metálicos⁵. Calcula el nuevo nivel de iluminación y determina si es aceptable o no, basándote en que el nivel de iluminación recomendado es de 500 lux también.

Solución al ejercicio planteado: $E = 10.833,33 \text{ lux} \rightarrow$ No es aceptable.

6. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- [A] Blanca Jiménez, Vicente, Aguilar Rico, Mariano. *Iluminación y color*. Ed. UPV, Valencia, 1995.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

- [1] <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html>
- [2] De las Casas Ayala, José María; González González, Rafael; Puente García, Raquel: "*Curso de Iluminación integrada en la arquitectura*". Ed. Servicio de publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid, 1991
- [3] Re. Vittorio: "*Iluminación externa*" Ed. Marcambo Boixaren. Barcelona, 1979.
- [4] *Manual de Alumbrado* de firmas comerciales como PHILIPS, WHESTIGHOUSE, INDALUX.
- [5] Puppo, Ernesto; Puppo, Giorgio Alberto, *Acondicionamiento natural y arquitectura. Ecología en arquitectura*, Ed. Marcambo Boixaren, Barcelona, 1971.
- [6] Instituto para la diversificación y ahorro de energía. "*Cuadernos de Gestión energética municipal*" Ed. IDAE. Madrid, 1989.
- [7] Asociación Nacional de fabricantes de luminarias. "Código de alumbrado interior" Ed. Anfalum. Madrid, 1981.
- [8] Taboada, J.A.: "*Manual OSRAM*". Ed. OSRAM. Madrid, 1975.

⁵http://www.erco.com/products/download/others/downloaddat_3992/es/es_downloadat_dltut_1.php?aktion=_startseite&sprache=es&dir=27_specsheets/10_indoor_specsheet