

9 Luminotecnia



Vamos a aprender

1. Magnitudes características en luminotecnia
2. Lámparas led
3. Lámparas de descarga
4. Regulación y control de iluminación
5. Luminarias
6. Diseño de alumbrado de interiores

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA 1

Instalación de un sistema de alumbrado led con tres escalones de potencia

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA 2

Fabricación de un expositor de lámparas con diferentes tipos de regulación y control

RETO PROFESIONAL

Estudio comparativo entre lámparas led y lámparas de descarga para iluminación interior de una nave industrial

Resultados de aprendizaje

- Monta circuitos eléctricos básicos interpretando documentación técnica.
- Mantiene instalaciones interiores aplicando técnicas de mediciones eléctricas y relacionando la disfunción con la causa que la produce.
- Cumple las normas de prevención de riesgos laborales y de protección ambiental, identificando los riesgos asociados, las medidas y equipos para prevenirlos.

Luminotecnia

1. Magnitudes características en luminotecnia

Las formas en que la energía se manifiesta en el universo son varias (mecánica, química, eléctrica, térmica, radiante). Dentro de la energía radiante (ultrasonidos, ondas de radio y televisión, etc.), la luz constituye un pequeño grupo de radiaciones que son percibidas por el ojo humano y cuya denominación es la de espectro visible.

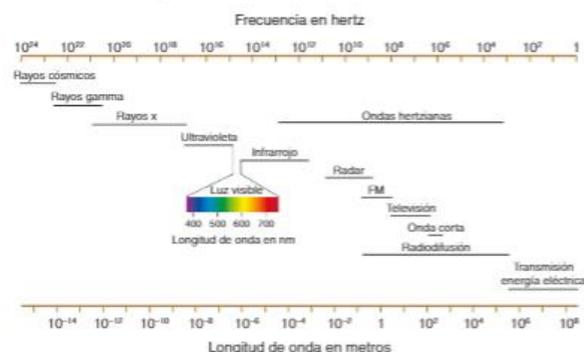


Figura 9.1. Espectro de radiación de luz.

El espectro electromagnético

Cada uno de estos tipos de onda comprende un intervalo definido por su magnitud característica, que puede ser de dos tipos: la longitud de onda (se mide en metros) y la frecuencia f (se mide en s^{-1} o hertzios, Hz).

El ojo humano solo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético que constituyen los diferentes colores, que mezclados forman la luz blanca. Cuando la luz blanca choca con un objeto, una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Si los refleja todos, el cuerpo es blanco y, si los absorbe todos, el cuerpo es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Así, pues, el color con que percibimos un objeto depende de la fuente de luz y de los colores que este sea capaz de reflejar.

La luminotecnia es la disciplina que estudia las diferentes fuentes artificiales de luz. Sus magnitudes y características fundamentales son las descritas en los apartados siguientes.

1.1. Flujo luminoso y rendimiento luminoso

El flujo luminoso expresa la cantidad total de luz emitida por segundo por una fuente luminosa en todas las direcciones. En el proceso de generación de luz en las lámparas, la temperatura tiene una influencia muy importante, existiendo una temperatura óptima para la que el flujo luminoso es máximo.

Vocabulary

- Espectro electromagnético: electromagnetic spectrum.
- Bombilla: light bulb.
- Flujo luminoso: luminous flux.
- Diodo: diode.



Saber más

La potencia nominal de las lámparas, a diferencia de otros receptores (en los motores la potencia nominal indica su potencia útil o mecánica), representa la potencia eléctrica absorbida de la red.



Este es el motivo por el que el diseño de luminarias capaces de evacuar el calor generado por la lámpara es tan importante.

El flujo luminoso ϕ se mide en lumen (lm)

A la hora de valorar la eficiencia energética de una lámpara, no basta con conocer el flujo luminoso que emite, sino que es necesario conocer los lúmenes emitidos por cada vatio de energía eléctrica consumido. Por esta razón, se define el rendimiento o eficacia luminosa η como el cociente entre el flujo emitido y la potencia consumida por la lámpara.

$$\text{Rendimiento luminoso} = \eta = \frac{\phi}{P} \text{ y se mide en } \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

La figura siguiente muestra de forma gráfica las pérdidas de energía eléctrica en la producción de luz artificial.



Figura 9.2. Pérdidas de energía eléctrica en la producción de luz artificial.

Ejemplo

Compara la energía eléctrica empleada y el flujo luminoso emitido por dos lámparas diferentes de la misma potencia: un tubo fluorescente de 36 W y un tubo led de 36 W.

Mirando en distintos catálogos de fabricantes de lámparas, observamos que: Un fabricante de tubos fluorescentes nos da como dato, en uno de sus modelos de 36 W, que este emite un flujo luminoso de 3250 lm. Por otro lado, un fabricante de tubos led de 36 W nos indica que uno de sus modelos emite un flujo luminoso de 5600 lm. Por tanto, sus rendimientos son de 90 lm/W para tubos fluorescentes y de 155 lm/W para tubos led. Esto indica que los tubos fluorescentes presentan más pérdidas.

1.2. Temperatura de color (TC) e índice de reproducción cromática (IRC)

La apariencia de color de las lámparas (fuente de luz) viene determinada por su temperatura de color correlacionada. La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz por comparación de esta con el color de un cuerpo negro (cuerpo radiante perfecto, cuya emisión de luz es debida únicamente a su temperatura). La llama de una vela es similar a un cuerpo negro calentado a 1800 K (grados kelvin); se dice entonces que tiene una TC de 1800 K.



Un cuerpo negro (igual que cualquier cuerpo incandescente) cambia de color según aumenta su temperatura, pasando de color rojo sin brillo a rojo claro, naranja, amarillo, blanco, blanco azulado y azul.

Para las aplicaciones generales de iluminación en interior, se divide la luz en tres rangos de temperatura de color, según muestra la figura:



Figura 9.3.

Una vez elegida la temperatura de color, la impresión de color no queda determinada, sino que debe seleccionarse también la capacidad de reproducir los colores en los objetos iluminados mediante un parámetro denominado índice de Reproducción Cromática (IRC).

La temperatura de color y el índice de reproducción cromática son parámetros completamente independientes. Sirva pensar en la diferencia entre la luz solar y la de una lámpara incandescente: ambas tienen una reproducción cromática excelente, puesto que en su espectro se encuentran todos los colores, pero la apariencia de color es distinta, ya que en el caso de la luz solar su temperatura de color al mediodía es fría, mientras que la de las lámparas incandescentes es cálida; por eso, producen diferentes sensaciones. La mayoría de las lámparas de descarga tiene un espectro discontinuo; es decir, su espectro no contiene todos los colores.

El IRC toma valores entre 0 y 100, de forma que una fuente de luz con IRC 100 indica que los colores de los objetos iluminados con este tipo de luz serán muy próximos a los que veríamos bajo una luz natural que tuviera la misma temperatura de color que la lámpara. Conforme nos vamos alejando de 100, podemos esperar mayor dispersión de todos los colores. Al elegir las lámparas para sus distintas aplicaciones, podemos seguir los siguientes parámetros:

- IRC < 60 → Pobre
60 < IRC < 80 → Bueno
80 < IRC < 90 → Muy bueno
90 < IRC < 100 → Excelente

1.3. Vida útil

La vida útil es el tiempo tras el cual es preferible sustituir una lámpara a mantenerla en la instalación. La disminución que sufre el flujo luminoso emitido por una lámpara a lo largo de su vida hace que, pasado ese tiempo, ya no sea viable económicamente mantenerla, procediéndose a su sustitución. Este valor es importante en las grandes superficies iluminadas para poder programar los plazos de sustitución de las mismas, ya que en



Saber más

Según la Normativa Europea, en la nomenclatura de las lámparas debe indicarse después de su potencia un código de 3 dígitos, el primero de los cuales indica el IRC y los dos siguientes hacen referencia a la temperatura de color de la lámpara. Por ejemplo, una lámpara cuya nomenclatura sea 80W/S34 indica que posee una potencia de 80 W, un IRC mayor o igual a 50 y una T* de color de 3400 K.

Recuerda

Para analizar el gasto de la energía eléctrica consumida por una lámpara, conviene tener en cuenta que la energía es $E = P \cdot t$, medida en kWh, que es la unidad que utiliza la compañía suministradora para facturar (1 kWh cuesta aproximadamente 0,14 €).

Vocabulary

- Lámpara: lamp.
- Diodo: diode.
- Led: led.
- Ánodo: anode.
- Cátodo: cathode.

algunos tipos de lámparas con el paso del tiempo el flujo luminoso se deprecia por encima del 30 % por lo cual, llegado un punto, es más rentable sustituirlas que mantenerlas en la instalación, aunque estas no llegaran a fundirse.

Los factores que más afectan a la vida útil de la lámpara son la temperatura ambiente y las variaciones de la tensión aplicada con respecto a su tensión nominal.

Las temperaturas elevadas reducen la vida útil de las lámparas; de ahí la importancia que tiene el diseño de las luminarias a la hora de evacuar el calor que estas generan, como se ha señalado anteriormente.

1.4. Tecnologías de iluminación

En los últimos años, los sistemas de iluminación han sufrido un cambio sustancial con la aparición de las lámparas led que han sustituido o están sustituyendo a las tecnologías tradicionales, tales como: lámparas de incandescencia (estándar y halógenas), lámparas de descarga (fluorescente, vapor de mercurio de alta presión, vapor de sodio de baja y alta presión, halogenuros metálicos) y luz mezcla.

El cambio de los sistemas de iluminación tradicional que se está produciendo a favor de la tecnología led se justifica por la obtención de valores de eficiencia energética mayores con un coste energético significativamente menor.

2. Lámparas led

Se basan en diodos LED (*Light Emitting Diode*; diodo emisor de luz) que, al ser atravesados por una corriente eléctrica, emiten luz. Debido a que la luz emitida por un solo diodo no es muy intensa, para la configuración de estas lámparas y para que alcancen intensidades luminicas similares a las tradicionales, tales como las incandescentes, fluorescentes, etc., las lámparas ledes se componen de agrupaciones de diodos en un número que estará en función del flujo luminoso deseado.

2.1. Diodo led

Un diodo led es un elemento electrónico **semiconductor** (sustancia cuya conductividad eléctrica puede ser alterada mediante variaciones de temperatura, aplicación de campos eléctricos, concentraciones de impurezas, etc.), que permite el paso de la corriente eléctrica en una única dirección; y que cuando es polarizado adecuadamente entre **ánodo** y **cátodo** emite luz en una o más longitudes de onda (colores), al producirse el fenómeno de la electroluminiscencia.

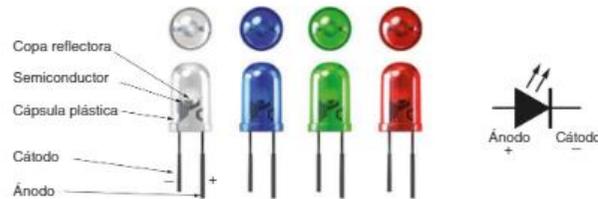


Figura 9.4. Diodos led.

2.2. Tipologías led aplicables en iluminación

La luz emitida por un solo led (niveles 0 y 1) no es muy intensa; por eso, sus aplicaciones se limitan a la señalización en equipos electrónicos. Para alcanzar la intensidad luminosa similar a otras lámparas, las lámparas led están compuestas por agrupaciones de led (nivel 2) cuyo número depende de la intensidad luminosa deseada. Los niveles 3 y 4 dependen de la forma en que se fabriquen estas lámparas.

Los niveles de fabricación son los siguientes:

- Niveles 0 y 1: compuesto por un diodo led individual, bien configurado como un chip led (nivel 0) y o bien un componente electrónico led (nivel 1).
- Nivel 2: módulo formado por una **matriz** de varios led individuales montados sobre un circuito impreso. El conjunto puede incluir otros componentes, como disipadores de calor, sistemas ópticos, control electrónico, etc.
- Nivel 3: lo conforman las lámparas led para la sustitución directa de otro tipo de lámparas (generalmente incandescentes, halógenas o fluorescentes). Se denominan **Retrofit**.
- Nivel 4: **luminarias led** que emplean esta tecnología como fuente luminosa. Pueden estar formadas por uno o varios módulos led.



Figura 9.5. Tipología de aplicaciones led.

2.3. Partes de la lámpara led

Las partes que componen una lámpara led para aplicaciones de iluminación (lámparas led de alta potencia luminosa) son:

a) Chip o matriz

Es el componente principal en que se basa la lámpara. Se utilizan ledes discretos individuales junto con las capas de recubrimiento correspondientes para proporcionar las características cromáticas que deba tener la lámpara, pudiendo ser estas capas de:

- Fósforo amarillo ocre, para obtener luz cálida (similar a la halógena).
- Fósforo amarillo-verde, para obtener luz fría (similar al fluorescente).

Eficiencia energética

La iluminación led usa un promedio de un 40% menos de energía que las lámparas fluorescentes, y un 80% menos que las lámparas incandescentes para producir la misma cantidad de luz.

**b) Disipador de calor**

Es un elemento imprescindible en toda lámpara led para iluminación. Se encarga de disipar el calor producido en la zona de deplexión de los diodos, manteniéndolos dentro de un rango de funcionamiento adecuado. Cualquier deficiencia en el disipador puede derivar en la destrucción del led.

c) Controlador (*driver*)

Es el sistema electrónico que controla el funcionamiento de la lámpara led y, en el caso de lámparas de corriente alterna, contiene el transformador y el puente rectificador.



Figura 9.6. Disipador y chip led.



Figura 9.7. Driver de lámparas led.



Figura 9.8. Lentes para lámpara led.

d) Componentes ópticos (lentes)

Los led normalmente emiten luz de forma unidireccional (focalizada), así que las lámparas basadas en ellos deben disponer de un componente óptico formado por pequeñas lentes cuya misión es determinar el ángulo de difusión de la luz adaptándola al uso, pudiendo llegar a ángulos de hasta 120°.

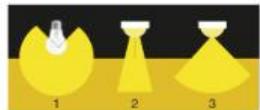


Figura 9.9. 1) Lámpara de incandescencia omnidireccional. 2) led unidireccional. 3) led con componentes ópticos.

2.4. Parámetros de las lámparas led

a) **Flujo luminoso y rendimiento luminoso.** Justamente una de las mayores ventajas de estas lámparas frente a otros sistemas convencionales es el rendimiento luminoso, alcanzando mejor rendimiento luminoso por vatio (lm/W) que ningún otro sistema tradicional de iluminación.

b) **Vida útil.** El ciclo de vida útil de los ledes es muy elevado (comúnmente pueden alcanzar hasta las 50 000 horas). Es mucho mayor que en los tubos fluorescentes (10 000 horas) y las tradicionales bombillas de incandescencia (2 000 horas).

La vida útil indicada por los fabricantes se especifica con una nomenclatura especial. Las más comunes en tecnología led son: L70B50, que quiere decir que el 50% de las lámparas del fabricante van a mantener un flujo luminoso de al menos un 70% a las 50 000 horas y L70B10, para indicar que el 90% de las lámparas mantendrán un flujo lumínico de 70% a las 50 000 horas.

c) **Tiempo de encendido.** En este tipo de lámparas, es muy bajo, alrededor de 250 ms y, en caso de reencendido, no precisa enfriarse.

Pero hay que tener en cuenta que, si se incorpora la lámpara led dentro de una luminaria ya existente, módulo o lámpara *retrofit* (de sustitución de lámparas incandescencia o de descarga), los parámetros que proporcionan los fabricantes no son extrapolables a esta nueva situación, ya que las características fotométricas pueden variar de forma drástica y no obtenerse los resultados esperados.

3. Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga basan su funcionamiento en la generación de luz mediante una descarga eléctrica producida entre dos electrodos situados en el interior de un tubo lleno de gas. Se clasifican según el gas utilizado y la presión a la que se encuentre el interior del tubo de descarga.

Una característica común a todas las lámparas de descarga es que disminuye su resistencia a medida que aumenta la intensidad de la corriente, por lo que no pueden ser conectadas directamente a la red de alimentación, sino con un dispositivo que controle la intensidad que circule por ellas. Este dispositivo es lo que habitualmente se conoce como **reactancia** o **balasto**.

3.1. Lámparas fluorescentes

Las lámparas fluorescentes utilizan un gas noble (argón) con unas gotas de mercurio líquido que, una vez iniciado el proceso de conducción, se convierte en vapor de mercurio. En los extremos del tubo, se encuentran unos cátodos de wolframio impregnados con una pasta emisora de electrones. La luz se genera debido al fenómeno de fluorescencia. Según este proceso, determinadas sustancias luminiscentes que recubren el tubo son excitadas por la radiación ultravioleta (no visible) del vapor de mercurio, generando radiación visible.

3.1.1. Lámparas fluorescentes tubulares

Las lámparas fluorescentes tubulares presentan el tubo de descarga en forma rectilínea, aunque también se encuentran dentro de esta denominación las lámparas en forma de «U» o circulares. Su rendimiento luminoso se encuentra entre los 50 y 100 lm/W, dependiendo de la temperatura de color de la lámpara (entre 3 000 K y 6 000 K), cumpliéndose que los tubos con mayor rendimiento luminoso son los de menor temperatura de color y menor IRC, y viceversa.

Existen dos grupos diferenciados de balastos para lámparas fluorescentes:

a) **Electromagnéticas:** se trata de una bobina conectada en serie con el tubo, proporcionando la tensión necesaria para el encendido de la lámpara a la vez que limita la corriente que circula por la lámpara. Sus características más relevantes son tensión, potencia y $\cos \phi$. Las potencias más habituales son las de 20 W, 40 W y 60 W, indicando, además, la potencia máxima del tubo o tubos que se pueden conectar a la misma.

La reactancia electromagnética siempre va asociada a un **cebador**, cuya función es iniciar el proceso de descarga del gas. Una vez producido el encendido, puede desconectarse sin afectar al funcionamiento de la lámpara. Su característica principal es el rango de potencias de tubo que es capaz de arrancar.



Figura 9.11. Cebador, reactancia y tubo fluorescente.

Saber más

El transformador electromagnético es un dispositivo con dos devanados (primario y secundario), que convierte una tensión alterna en otra con la misma frecuencia pero diferente tensión. Sus características principales son tensión del primario, tensión del secundario y potencia máxima del secundario.

Recuerda

Las reactancias electromagnéticas son bobinados y, por tanto, deben llevar identificado su factor de potencia o $\cos \phi$ (en algunas reactancias, se designa como λ). El REBT establece que el factor de potencia debe corregirse hasta un valor mayor o igual a 0,9 mediante la instalación de un condensador.

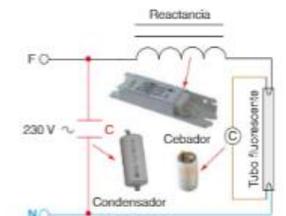


Figura 9.10. Conexión de un tubo fluorescente mediante reactancia electromagnética.

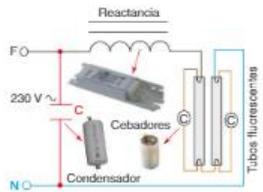


Figura 9.12. Conexión de dos tubos fluorescentes mediante una sola reactancia electromagnética.



Figura 9.13. Reactancia electrónica.

b) **Electrónicas:** se trata de un circuito electrónico que sustituye al equipo convencional compuesto por reactancia, cebador y condensador corrector del factor de potencia, haciendo trabajar a la lámpara a frecuencias por encima de los 20 kHz. Este tipo de reactancia aporta un gran número de ventajas técnicas, como las siguientes:

- Poseen mayor eficiencia energética (105 lm/W).
- Garantizan un encendido instantáneo.
- No presentan efecto estroboscópico.
- No presentan parpadeos con lámpara agotada.
- Registran menor depreciación del flujo luminoso con el paso del tiempo.
- Se caracterizan por un funcionamiento silencioso.
- Permiten la regulación de flujo luminoso mediante potenciómetro.

Utilizar balastos electrónicos supone un desembolso inicial algo mayor; sin embargo, en una valoración global, se demuestra la rentabilidad de estos frente a los equipos convencionales.



Figura 9.14. Conexión de un tubo fluorescente mediante reactancia electrónica.

3.1.2. Lámparas fluorescentes compactas o lámparas de bajo consumo

Presentan cualidades similares a las fluorescentes tubulares, aunque algo inferiores. Al reducir las dimensiones a tamaños semejantes a los de bombillas incandescentes, permiten su utilización en múltiples aplicaciones domésticas, donde las lámparas tubulares no caben.

Según su forma constructiva, se pueden diferenciar entre las diseñadas con casquillo estándar, con dos pines (con cebador interno, para ser utilizadas con reactancia electromagnética) o con cuatro pines (para ser usadas con balasto electrónico o electromagnético).



Figura 9.15. Lámparas fluorescentes de bajo consumo (compactas).

3.2. Lámparas de descarga de alta intensidad

Las lámparas de alta intensidad poseen un tubo de descarga de dimensiones mucho más reducidas que las lámparas fluorescentes y trabajan a presiones superiores.

En este tipo de lámparas, a medida que aumenta la temperatura en el tubo de descarga, aumenta la presión del gas, y con ella el flujo luminoso emitido, alcanzando su valor nominal en unos minutos. Al apagar la lámpara, la elevada presión interior no permite su reencendido hasta transcurridos unos minutos, tiempo en el cual se habrá enfriado lo suficiente. En función del elemento principal, que caracteriza la mezcla de gas, y la presión en el tubo de descarga, pueden clasificarse en varios tipos, explicados a continuación:



3.2.1. Lámpara de vapor de mercurio

El principio de funcionamiento de las lámparas de vapor de mercurio a alta presión es similar al de las lámparas fluorescentes, pero el gas (argón) en el interior del tubo de descarga se encuentra a mayor presión.

No utilizan arrancador, por lo que, al conectar la lámpara a través de la reactancia, se produce inicialmente una descarga entre el electrodo principal y un electrodo auxiliar de encendido, que se encuentra muy próximo. La descarga ioniza el argón, haciéndolo conductor y estableciendo un arco entre los dos electrodos principales.

Su espectro cromático no contiene radiaciones rojas, por lo que existen lámparas con aditivos añadidos que obtienen un espectro más completo, conocidas como de «color corregido» y que alcanzan un IRC próximo a 60.

Se utilizan en alumbrado industrial, urbano, parques y jardines.

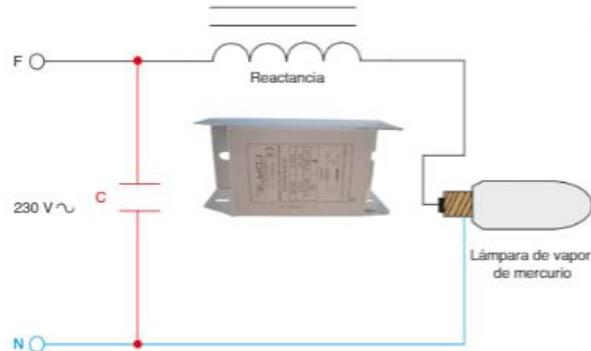


Figura 9.17. Conexión de una lámpara de vapor de mercurio.



Figura 9.16. Lámpara de vapor de mercurio.

3.2.2. Lámpara de vapor de sodio de alta presión

Estas lámparas están formadas por un tubo de descarga de óxido de aluminio capaz de resistir temperaturas de hasta 1000 °C, así como la acción química del vapor de sodio. El tubo de descarga se aloja en el interior de una ampolla de vidrio duro, resistente a la intemperie, que sirve de protección y aislamiento eléctrico.

Para el encendido de estas lámparas, debido a la elevada presión de los gases en el interior del tubo, es preciso aplicar tensiones muy superiores a la de la red (4,5 kV), siendo necesario el uso de reactancia con arrancador.

Al conectar la lámpara a través de la reactancia, se produce una descarga inicial en la atmósfera de gas auxiliar (xenón o neón), comenzando el calentamiento de la lámpara por acción del arco eléctrico, que va fundiendo y evaporando el sodio metálico, generando así la emisión de luz. El periodo de arranque dura unos 7 minutos. Al apagar la lámpara, la elevada presión interior no permite su reencendido hasta pasados unos 6 minutos, cuando se restablecen las condiciones iniciales.

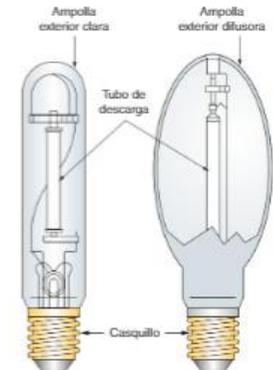


Figura 9.18. Lámparas de vapor de sodio de alta presión de ampolla elipsoidal y ampolla tubular.



Saber más

Según el REBT, la potencia aparente consumida por el equipo de una lámpara de descarga (lámpara más reactancia) será 1,8 veces la potencia en vatios de la lámpara. Aunque, si se conoce otro coeficiente entre ambas potencias, se podrá aplicar en el cálculo de su línea de alimentación.

Su alta eficacia luminosa y su larga vida útil, junto con su discreto IRC, hacen que su aplicación más generalizada sea el alumbrado de vías públicas (caracterizado por el aspecto anaranjado), naves industriales con poca exigencia en reproducción de colores, estacionamientos abiertos, fachadas, monumentos, etc.

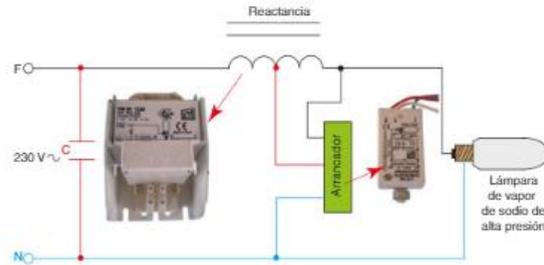


Figura 9.19. Esquema de conexión de una lámpara de vapor de sodio de alta presión.

3.2.3. Lámpara de halogenuros metálicos

Las lámparas de halogenuros metálicos son similares a las de vapor de mercurio, diferenciándose en que, además de mercurio, contienen yoduros metálicos, con los que se obtiene mayor eficacia luminosa y una mejor reproducción cromática. La presencia de estos compuestos hace necesaria una tensión de encendido superior a la suministrada por la red, por lo que necesitan reactancia con arrancador.

La luz se obtiene por la descarga que se genera en sus electrodos. Esto provoca un flujo de electrones que atraviesa el gas y, dependiendo del yoduro con el que se rellena el tubo, se producirá un color distinto.

Se comercializan en varios formatos: en forma de ampolla elipsoidal, en forma de ampolla tubular y de doble conexión con o sin cable.

Su buena eficacia luminosa, su larga vida útil junto con su alto IRC (superior a todas las lámparas de alta intensidad), hacen que sus aplicaciones más generalizadas sean en alumbrado de proyección, estadios, retransmisiones de televisión, estudios de cine, iluminación decorativa de interior en escaparates, centros comerciales, etc.

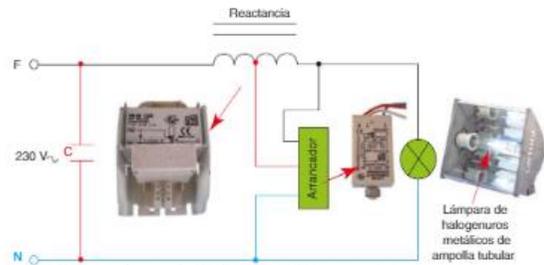


Figura 9.21. Esquema de conexión de las lámparas de halogenuros metálicos.



Figura 9.20. Lámpara de halogenuros metálicos en formato de doble conexión sin cable.



3.2.4. Lámpara de vapor de sodio a baja presión

La presencia del gas a baja presión hace que la tensión de encendido de estas lámparas se eleve solo hasta unos 600 V, por lo que no precisa arrancador, sino un aparato de alimentación que se denomina reactancia auto-transformadora.

Cuando se acciona la lámpara, comienza la descarga entre los electrodos del tubo a través de un gas neón. A medida que va aumentando la temperatura, el sodio empieza a vaporizarse, hasta que se inicia la descarga a través de él.

Poseen un color amarillo característico, con una elevada eficacia luminosa y una alta vida útil (superiores a todas las lámparas de alta intensidad). Aunque su IRC es muy bajo y no permite distinguir los colores de los objetos, facilitan una gran agudeza visual y una gran percepción de contrastes.

Estas lámparas se instalan para aplicaciones muy específicas, en las que se prefiere un buen rendimiento, como son el alumbrado de túneles, puertos, autopistas, así como refuerzo de alumbrado ornamental y de monumentos. El conexionado de estas lámparas es el de la siguiente figura:



Figura 9.23. Lámpara de vapor de sodio de baja presión.

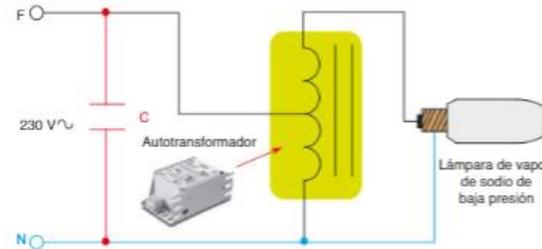


Figura 9.22. Esquema de conexión típico de una lámpara de vapor de sodio de baja presión.

Actividades

1. Realiza un inventario de las lámparas con las que cuentas en el aula-taller y confecciona una tabla con los siguientes apartados:

Tipo de lámpara	Potencia	Flujo luminoso	Posición de trabajo	Equipo de arranque	Aplicaciones
-----------------	----------	----------------	---------------------	--------------------	--------------

2. Realiza el montaje de una lámpara de vapor de sodio a baja presión de 100 W / 250 V (o similar), de acuerdo con el esquema de la figura 9.22. Después, resuelve los siguientes apartados:

- Mide la intensidad que absorbe de la red y compárala con la de una lámpara incandescente estándar de 100 W / 230 V.
- Mide la tensión de alimentación y la tensión de trabajo de la lámpara.
- Observa el color de los objetos que se hallan en su entorno.
- Cita varias razones por las cuales no se utiliza en el ámbito doméstico.

3. Busca, en el catálogo de al menos 2 fabricantes, todos los formatos que presentan los 4 tipos de lámparas de descarga de alta intensidad y confecciona con ellos una tabla resumen.

4. Como algunas reactancias son válidas para varios tipos de lámpara, indica con qué lámparas del inventario anterior son compatibles las reactancias con las que cuentas en el aula-taller. (Recuerda que hay que guiarse por el esquema facilitado por el fabricante).

Reactancias

Al igual que las lámparas fluorescentes, están formadas por bobinas de hilo de cobre con núcleos de hierro. Suministran la tensión para el encendido y limitan la corriente que circula por las lámparas.

Existen dos tipos principales de reactancias:

- **Reactancia en serie:** se conecta eléctricamente en serie con la lámpara y puede ir acompañada, en caso de ser necesario, de arrancadores para el encendido. Esta reactancia, como hemos visto, es el sistema más utilizado (en lámparas de vapor de mercurio, vapor de sodio de alta presión y halogenuros metálicos).
- **Reactancia autotransformadora:** se utiliza cuando la tensión de red no es suficiente para el funcionamiento de la lámpara, por lo que es necesario un sistema que la eleve hasta el valor adecuado (lámpara de vapor de sodio de baja presión).

Junto a estas, existen otros tipos para aplicaciones muy específicas, como las reactancias electrónicas (que permiten regular el flujo aunque no aumentan su eficacia luminosa) o reactancias de doble nivel (para ahorro energético).

Arrancadores

Algunas lámparas de descarga de alta intensidad (halogenuros metálicos y sodio de alta presión) necesitan una tensión de encendido muy elevada, que no puede ser suministrada únicamente por las reactancias. Los dispositivos encargados de proporcionar la tensión de encendido, en forma de impulsos de alta tensión, se denominan **arrancadores** o **ignitores**.

Al realizar su conexionado, hay que prestar especial atención a la **compatibilidad de arrancador y reactancia**, según los esquemas suministrados por el fabricante. Los arrancadores universalmente utilizados pueden ser básicamente de 2 hilos o de 3 hilos.

Otros dispositivos más sofisticados, con funciones añadidas, son: **arrancadores de encendido en caliente** (válidos para pocos tipos de lámparas), **arrancadores temporizados** (desactivan el funcionamiento del mismo si la lámpara no enciende por agotamiento o avería) y **conmutadores de emergencia**, los cuales dan paso de corriente a una lámpara de incandescencia durante el tiempo de reencendido de la lámpara de descarga. El conmutador y la lámpara incandescente suelen instalarse en la misma luminaria.



Figura 9.24. Diferentes tipos de reactancias para lámparas de descarga de alta intensidad.



Figura 9.25. Arrancador o ignitor y conmutador de emergencia.

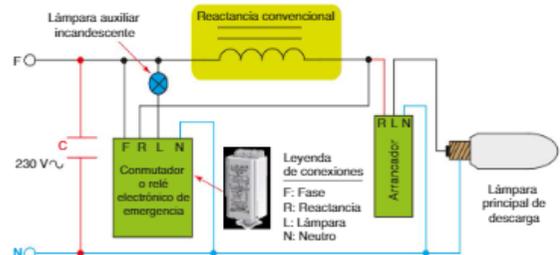


Figura 9.26. Esquema de conexión de una luminaria con conmutador de emergencia.

4. Regulación y control de iluminación

Los sistemas de regulación y control ofrecen una iluminación que se adapta a las necesidades de cada instalación y situación, creando ambientes adecuados para cada momento y proporcionando un alto grado de confort, al tiempo que un elevado ahorro de energía.

4.1. Regulación y control de lámparas led

Los led pueden ser fácilmente regulables reduciendo la corriente que circula a través de los ledes. Para ello, se utilizan dos técnicas diferentes:

- **Regulación analógica.** Varía la amplitud de la corriente.
- **Modulación de anchura de impulso (PWM).** Mantiene la amplitud constante pero el flujo de intensidad es interrumpido según una determinada frecuencia. Para valores de luminosidad de luminosidad bajos, la regulación de luminosidad analógica tiene sus limitaciones, algo que no ocurre en control PWM. Para alcanzar un control y regulación optimizado, ambos métodos pueden ser combinados.

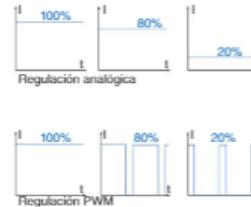


Figura 9.27. Tipos de regulación led.



Figura 9.28. Reguladores de lámparas led.

Saber más

Los controladores RGB son dispositivos que permiten cambiar el color de las lámparas led diseñadas a tal efecto. Además, pueden permitir la regulación de intensidad, el ajuste de brillos y la creación de efecto de flash.



Figura 9.29. Controlador RGB.

4.2. Regulación de flujo luminoso en lámparas fluorescentes

Este sistema requiere un balasto electrónico específico, que incluye una línea de control de 1 a 10 VCC y nos permite el control del flujo luminoso entre el 1 y el 100% mediante una resistencia variable (potenciómetro o fotocélula). Hay que prestar atención al número máximo de balastos que es capaz de regular (normalmente entre 1 y 10). Cuando se requiere controlar mayor número de balastos, debe utilizarse un amplificador.

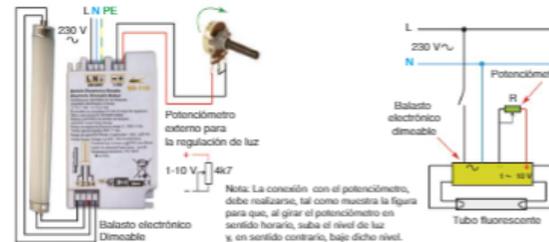


Figura 9.30. Esquema de conexión de regulación de fluorescentes.

Saber más

Existen sistemas de regulación más sofisticados que incluyen una central de control. Esta recoge los niveles de iluminación mediante sensores, permitiendo regular el nivel de luz de forma programada. El protocolo de comunicación más extendido para este sistema es el denominado DALI.

4.3. Regulación de flujo luminoso en lámparas de alta intensidad

En instalaciones de alumbrado exterior, hay horas de poco tráfico en las que se puede reducir el nivel de iluminación utilizando reactancias de doble nivel de potencia. Inicialmente, estas reactancias dan los valores nominales de la lámpara, obteniéndose el flujo nominal. En el momento deseado, se conmuta a la toma de mayor impedancia de la reactancia, reduciéndose la potencia en ella. La conmutación entre el nivel máximo y el reducido se da mediante un relé que posee estos equipos. En ambas situaciones, estos equipos necesitan dos condensadores independientes para mejorar el factor de potencia.

El cambio de nivel de potencia se realiza con una señal eléctrica enviada a través de una línea de mando. No son aconsejables reducciones de potencia mayores, ya que puede aparecer falta de estabilidad en las lámparas. La reducción de potencia se puede hacer en las lámparas de vapor de sodio a alta presión y en las de vapor de mercurio, pero no es recomendable para las lámparas de halógenos metálicos, ya que pueden verse afectadas sus características y su vida útil.

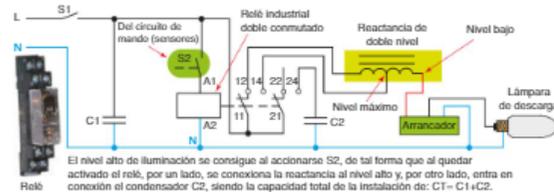


Figura 9.31. Esquema de conexión de una reactancia de doble nivel.

5. Luminarias

Las luminarias son las partes del equipo de alumbrado que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias lámparas alojadas en su interior. Además, contienen todos los elementos necesarios para su funcionamiento: balastos, *driver*, arrancadores, etc., incluyendo los elementos de protección y fijación.

5.1. Tipos de luminarias

Las luminarias se clasifican en:

- **Ópticas:** definen la forma y la distribución de la luz emitida, asegurando un reparto luminoso según el tipo de instalación (interior o exterior), evitando la contaminación lumínica y el deslumbramiento, y asegurando un rendimiento luminoso adecuado del conjunto lámpara-luminaria.
- **Eléctricas:** definen los grados de protección ante el riesgo de contactos eléctricos, la capacidad de albergar equipos eléctricos en su interior, así como la capacidad de soportar el calentamiento al que pueden estar sometidas.
- **Mecánicas:** definen los grados de protección mecánica (códigos IP-K) y la capacidad de los materiales con los que están construidas las luminarias para soportar los diferentes ambientes de instalación para los que han sido diseñadas.

5.2. Partes de las luminarias

Genéricamente, las luminarias constan de las siguientes partes:

- **Armadura o carcasa:** sirve como soporte y contiene todos los elementos de luminaria.
- **Equipos eléctricos:** serán los adecuados, según el tipo y las características de las lámparas incorporadas: reactancias y cebadores en caso de tubos fluorescentes, *driver* en caso de led, etc.
- **Reflectores:** reflejan el flujo emitido por las lámparas de la luminaria, modelando la forma y la dirección de este.
- **Difusores:** son los elementos de cierre de la luminaria en la dirección del flujo luminoso. Pueden ser de tipo opal liso, prismático, especular y reticular.
- **Filtros:** utilizados para realzar o atenuar ciertas características de la luz.

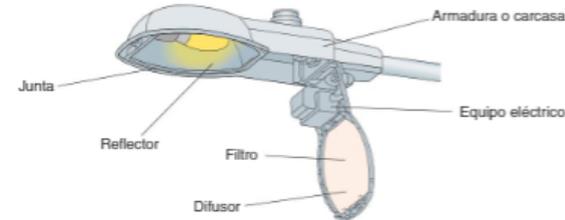


Figura 9.32. Partes de una luminaria.



Figura 9.33. Luminarias.

6. Diseño de alumbrado de interiores

Si iluminamos la superficie de una mesa con un foco de altura regulable, podemos observar que el nivel de iluminación en la mesa varía al modificar la altura de la lámpara, la potencia de la misma o la forma del foco (luminaria). Por eso, la característica fundamental a considerar en el diseño de alumbrado es el **nivel de iluminación o iluminancia**, que se define como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie, cuya unidad es el lux, y que depende fundamentalmente de 3 parámetros:

- Situación de las luminarias.
- Forma y características de las luminarias.
- Flujo luminoso emitido por las luminarias.

$$\text{Nivel de iluminación: } E = \frac{\Phi}{S} \text{ medido en Lux}$$

Donde:
 Φ es el flujo luminoso en lúmenes.
 S es la superficie en m².

El conocimiento de los niveles de iluminación adecuados para realizar determinadas actividades es fundamental a la hora de diseñar el alumbrado.

En la siguiente tabla, aparecen algunos niveles de iluminación recomendados por la Norma UNE 72163, según el tipo de actividad:

Tipo de actividad	E (Lux)	Tipo de actividad	E (Lux)
Zonas de circulación (pasillos)	50	Comercio tradicional	300
Zonas comunes (recepción, aseos, etc.)	100	Oficinas y salas de conferencias	450
Almacenes	150	Trabajos manuales ordinarios	500
Comedores	250	Grandes superficies, supermercados	700
Salas de estudio	300	Laboratorios	750
Bares y cafeterías	300	Trabajos de precisión	2000

Tabla 9.1. Niveles de iluminación recomendados, según el tipo de local y actividad.

Vocabulario

Luxómetro: este dispositivo convierte la energía luminosa en una señal eléctrica que, posteriormente, se amplifica y permite una fácil lectura en una escala calibrada de lux.

Mediante el aparato denominado **luxómetro**, podemos medir los niveles de iluminación de un emplazamiento y así tomar las medidas necesarias para mejorar la iluminación. Al realizar la medida, se debe consultar las instrucciones del fabricante, si bien conviene seguir las siguientes pautas:

- Antes de realizar la medida, se debe tapar la sonda correspondiente hasta que el luxómetro indique un nivel de iluminación cero; después, conviene esperar cinco minutos con el sensor expuesto a la luz antes de efectuar la lectura.
- Cuando se trate de tareas concretas, se debe medir en el plano de trabajo y con su misma inclinación.
- En las áreas de uso general, los niveles de iluminación han de obtenerse a una altura del suelo de 85 cm.
- En las vías de circulación, los niveles de iluminación han de obtenerse a ras del suelo.

Para calcular el número de lámparas necesarias en un emplazamiento determinado, existen aplicaciones informáticas desarrolladas por los fabricantes que permiten obtener el diseño con gran rapidez. También existen procedimientos de cálculo lumínico que utilizan las mismas variables, las cuales será preciso conocer a la hora de utilizar un método u otro.

El número de luminarias «N» viene dado por la expresión:

$$N = \frac{E \cdot S}{\Phi_i \cdot \rho}$$

donde las variables son:

E: Nivel de iluminación requerido para el local, según la actividad a realizar (tabla 9.1).

S: Superficie del local.

Φ_i : Flujo luminoso emitido por la lámpara (dato dado por el fabricante).

ρ : Rendimiento lumínico de la instalación. Es el parámetro más variable de la instalación, pues depende de numerosos factores, entre los que se encuentran los siguientes:

- **Factor de utilización.** Depende del sistema de alumbrado empleado (directo, indirecto, directo-indirecto, semi-directo, semi-indirecto, general-difuso), del tipo de luminaria y de otras medidas de la instalación (local, altura de luminarias, altura del puesto de trabajo, etc.).
- **Factor de reflexión.** Depende del color de techo, paredes y suelo. Su valor se encuentra tabulado por los fabricantes, siendo sus márgenes de variación de 0,1-0,3, para suelos, y 0,3-0,5-0,8, para paredes y techos.



Figura 9.34. Luxómetro.

- **Factor de mantenimiento.** Depende del grado de limpieza de las luminarias. Oscila entre 0,85 (buen mantenimiento) y 0,5 (poco mantenimiento).
- **Factor de depreciación del flujo.** Como ya sabemos, el flujo luminoso de una lámpara disminuye a lo largo de su vida útil. Es un dato suministrado por el fabricante y su valor oscila entre 0,55 y 0,9.
- **Factor de conservación.** En ocasiones, el factor de mantenimiento y el factor de depreciación del flujo se agrupan en el de conservación. Este viene dado por el producto de ambos.

El factor de utilización se obtiene mediante las tablas del fabricante, a partir del tipo de luminaria, los factores de reflexión y un coeficiente denominado índice del local (K), que viene dado por la expresión:

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)}$$

Donde a y b son el ancho y el largo del local, y h es la distancia de las luminarias al plano de trabajo (todas ellas expresadas en m). El valor final del rendimiento lumínico (ρ) vendrá dado por la expresión:

$$\rho = \text{Factor utilización} \cdot \text{Factor mantenimiento} \cdot \text{Factor depreciación del flujo}$$

Ejemplo

Realizar el diseño de alumbrado de una oficina de 25 m de largo por 10 m de ancho y 3,25 m de altura. Las mesas de trabajo tienen 85 cm de altura. La oficina está pintada con paredes de color crema y techo blanco. Las mesas serán de color madera. El alumbrado se realizará con tubos led de 14 W, 2100 lm y 1,2 m de largo instalados en luminarias para 4 tubos de tipo extensivo para alumbrado directo. Estas se instalan adosadas en el techo con plafón cerrado con difusor. El nivel de iluminación exigido es de 500 lux y se estima un factor de conservación por ensuciamiento de polvo y envejecimiento de las luminarias de 0,8.

$$\Phi = E \cdot S = 500 \cdot 250 = 125\,000 \text{ lm}$$

La altura (h) entre el plano de trabajo y las luminarias será:

$$h = 3,25 \text{ m} - 0,85 \text{ m} = 2,5 \text{ m}$$

Por tanto el índice local será:

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} = \frac{25 \cdot 10}{2,5(25+10)} = 2,85$$

Según la tabla 9.2, para techo blanco (0,7), pared crema (0,5) y plano de trabajo madera (color de la mesa 0,3), con un índice local K que está entre 2,50 y 3,00, se obtiene un **factor de utilización medio** de:

$$F_u = (0,72 + 0,75)/2 = 0,735$$

Teniendo en cuenta el **factor de conservación de 0,8** obtenemos un flujo total y un número total de luminarias de:

Reflexancias para techo, paredes y plano de trabajo o suelo (CE)										
Techo	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,0
Pared	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,0
Suelo	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Índice local K										
0,6	0,37	0,35	0,37	0,36	0,35	0,30	0,30	0,27	0,30	0,27
0,8	0,46	0,45	0,45	0,44	0,43	0,38	0,37	0,34	0,37	0,34
1,00	0,55	0,49	0,52	0,50	0,48	0,44	0,43	0,40	0,43	0,40
1,25	0,59	0,54	0,58	0,55	0,55	0,49	0,48	0,46	0,48	0,45
1,50	0,65	0,58	0,62	0,59	0,57	0,53	0,52	0,50	0,52	0,49
2,00	0,70	0,65	0,68	0,65	0,62	0,59	0,58	0,56	0,57	0,55
2,50	0,74	0,75	0,72	0,69	0,65	0,62	0,61	0,59	0,60	0,59
3,00	0,77	0,68	0,75	0,71	0,67	0,65	0,64	0,62	0,63	0,61
4,00	0,81	0,70	0,78	0,74	0,69	0,67	0,66	0,65	0,65	0,64
5,00	0,85	0,71	0,80	0,75	0,71	0,69	0,68	0,66	0,66	0,65

Tabla 9.2. Tabla para cálculo del factor de utilización dada por el fabricante.

$$\Phi_{\text{TOTAL}} = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Factor de utilización} \cdot \text{Factor de conservación}} = \frac{125\,000}{0,735 \cdot 0,8} = 212\,585 \text{ lm}$$

Siendo el n° de lámparas de: $N = \frac{212\,585}{2100} = 101,23 \rightarrow \approx 104$ lámparas \rightarrow 26 luminarias con 4 tubos led de 14 W cada una.

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA 1

Material

- Un interruptor automático de 2x10 A
- Un diferencial 2x25 A/30 mA
- Una fuente de alimentación 230 V_{AC}/12 V_{CC}
- Seis lámparas led 12 V_{CC}/3 W (o similar)
- Una batería 12 V/7 Ah
- Un relé industrial doble conmutado de 230 V/10 A
- Un interruptor horario digital de dos canales (o 2 interruptores horarios de esfera)
- Cajas de registro, tubos, cables, regletas de conexión, etc.

Instalación de un sistema de alumbrado led con tres escalones de potencia

Objetivo

Realizar el montaje que resuelve el caso práctico inicial, sustituyendo las 20 lámparas halógenas de 50 W por lámparas led, añadiendo los focos necesarios, ya que existen lámparas led del mismo formato que las lámparas halógenas. Además, la instalación dispondrá de tres escalones de potencia:

- Horario de máximo tránsito: 14 horas diarias.
- Horario de poco tránsito: 6 horas diarias.
- Horario de mínimo tránsito y suministro complementario (mediante batería) cuando se produce un apagón: 4 horas diarias.

Desarrollo

- En el cuadro de alumbrado de pasillo, se montarán todos los dispositivos: interruptor automático de 10 A, diferencial 2x25 A/30 mA, fuente de alimentación 230 V_{AC}/12 V_{CC}, batería plomo-ácido 12 V, contactores e interruptores horarios.
 - Se instalarán 4 conductores (1 negativo y 3 positivos) para alimentar los 3 escalones de potencia (1/3 de la potencia total), aprovechando la canalización existente.
1. Cálculos de la instalación:

a) Inicialmente, hallamos el flujo total emitido por la instalación antigua que, como vimos anteriormente, es:

$$\Phi_{\text{TOTAL}} = 50 \text{ W} \cdot 20 \frac{\text{lm}}{\text{W}} = 20 \text{ 000 lm}$$

b) Como el nivel de iluminación es adecuado, no se van a cambiar las luminarias (focos) ni va a cambiar el rendimiento lumínico ($\rho = 0,81$). La potencia total a instalar será:

$$P = \frac{20 \text{ 000 lm}}{90 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} = 222,2 \text{ W} \rightarrow P_{\text{escalón}} = \frac{222,2 \text{ W}}{3 \text{ escalones}} = 74 \text{ W}$$

Colocaríamos 20 lámparas led de 4 W en cada escalón de potencia, con lo cual se obtiene:

$$P_{\text{TOTAL}} = 20 \text{ lámparas} \cdot 4 \text{ W} \cdot 3 \text{ escalones} = 240 \text{ W}$$

$$\Phi_{\text{TOTAL}} = 240 \text{ W} \cdot 90 \frac{\text{lm}}{\text{W}} = 21 \text{ 600 lm}$$

Por tanto, se instalarán un total de 60 lámparas de 12 V/4 W, separadas 1 m. En cada escalón de potencia, se activarán 20 lámparas; además, se conservarán 20 focos, añadiendo los 40 restantes. El flujo total aumentará hasta 21600 lm.

El esquema de distribución en planta de la instalación es el de la figura:

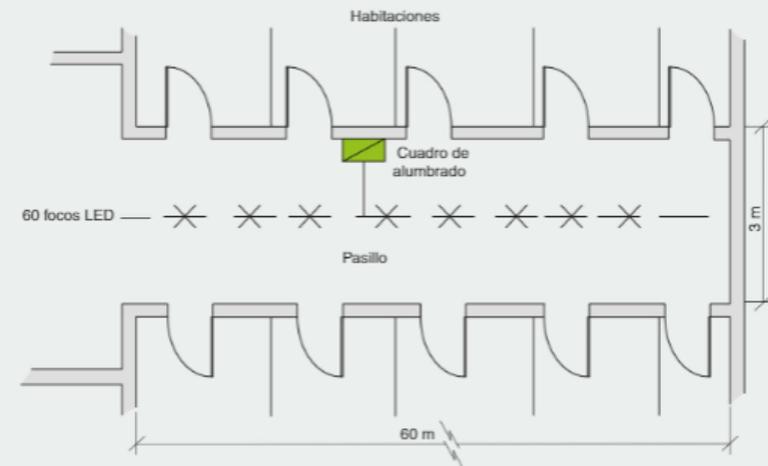


Figura 9.35. Esquema de distribución en planta de la instalación de iluminación led.

- c) Sección de la línea a 12 V_{CC} para alimentar las 60 lámparas si los datos de la canalización son: conductores unipolares bajo tubo, de cobre y aislamiento XLPE. Al encontrarse el cuadro de alumbrado en la mitad del pasillo, se tenderán 2 líneas, que se cerraran en anillo.

$$I = \frac{240 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 20 \text{ A} \quad S = \frac{2 \cdot 30 \text{ m} \cdot 4 \text{ W} \cdot 30 \text{ lámparas}}{56 \cdot 0,36 \text{ V} \cdot 12 \text{ V}} = 29 \text{ mm}^2$$

Al cerrarse en anillo, se reduce la sección a la mitad; por tanto, tomaríamos una sección de 16 mm² para el negativo y 1/3 de la sección para cada escalón de potencia; es decir, 3 conductores de 6 mm² para los positivos.

- d) La batería necesaria para el suministro complementario, dado que suministra 1/3 de la potencia cuya intensidad es 20 A/3 = 6,33 A, sería de 12 V/7 Ah (o superior). Esta batería suministraría una autonomía de una hora en caso de ser necesario.

- e) La fuente de alimentación sería de 230 V_{AC}/12V_{CC} de 20 A (o superior).

- f) Ahorro energético en un año de funcionamiento.

La instalación halógena estaba funcionando de manera continua a toda potencia. Por tanto:

$$\text{Gasto} = 0,05 \text{ kW} \cdot 20 \text{ focos} \cdot 24 \text{ horas} \cdot 365 \text{ días} \cdot 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 1051,2 \text{ €}$$

La instalación led con funcionamiento parcial en 3 tramos de potencia sería:

$$\text{Gasto} = (0,004 \text{ kW} \cdot 60 \text{ focos} \cdot 14 \text{ h} + 0,004 \text{ kW} \cdot 40 \text{ focos} \cdot 6 \text{ h} + 0,004 \text{ kW} \cdot 20 \text{ focos} \cdot 4 \text{ h}) \cdot 365 \text{ días} \cdot 0,12 \text{ €/kWh} = 203,3 \text{ €}$$

Teniendo en cuenta el número de pasillos similares del hotel, el ahorro anual sería significativo; además, habría que añadir el ahorro en mantenimiento, ya que la vida útil de ambas lámparas es de 50 000 horas frente a 2500 horas (se desprecian los gastos energéticos de los transformadores y de la fuente de alimentación).

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA 1

continuación

2. Realiza el esquema eléctrico de la instalación.

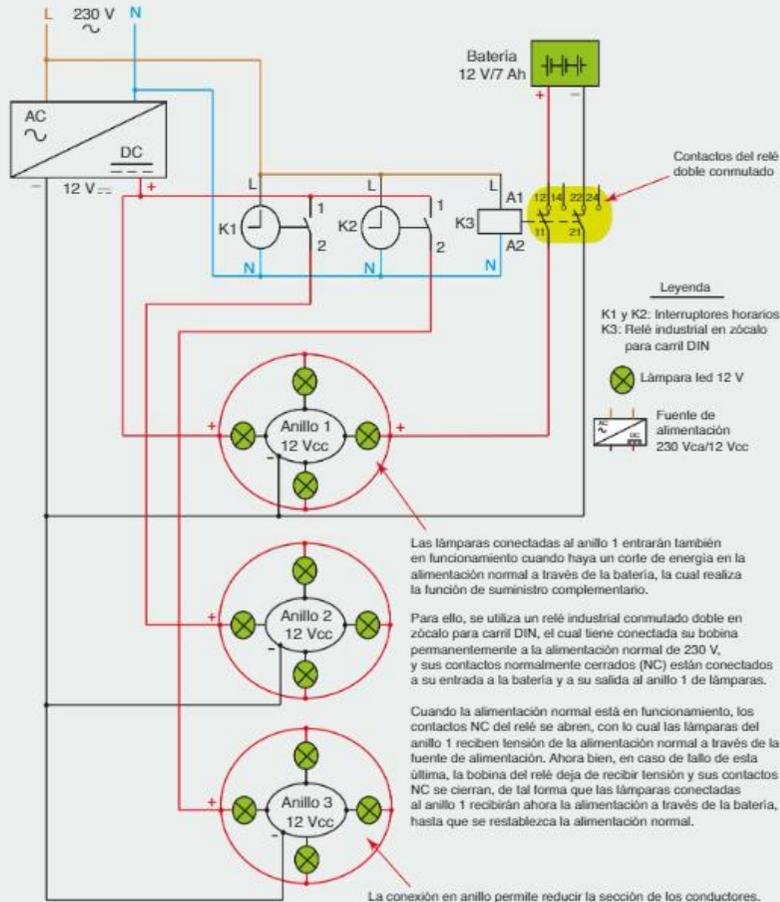


Figura 9.36. Esquema multifilar de la instalación de alumbrado led con tres escalones.

Nota: el funcionamiento del relé industrial doble conmutado que se utilizará está descrito en la figura 9.38 de la Práctica Profesional Resuelta 2 de esta unidad.

3. Realiza el montaje de la instalación y acciona los interruptores horarios para comprobar los 3 niveles de potencia. Interrumpe el suministro a través del interruptor general y comprueba el funcionamiento del suministro complementario.

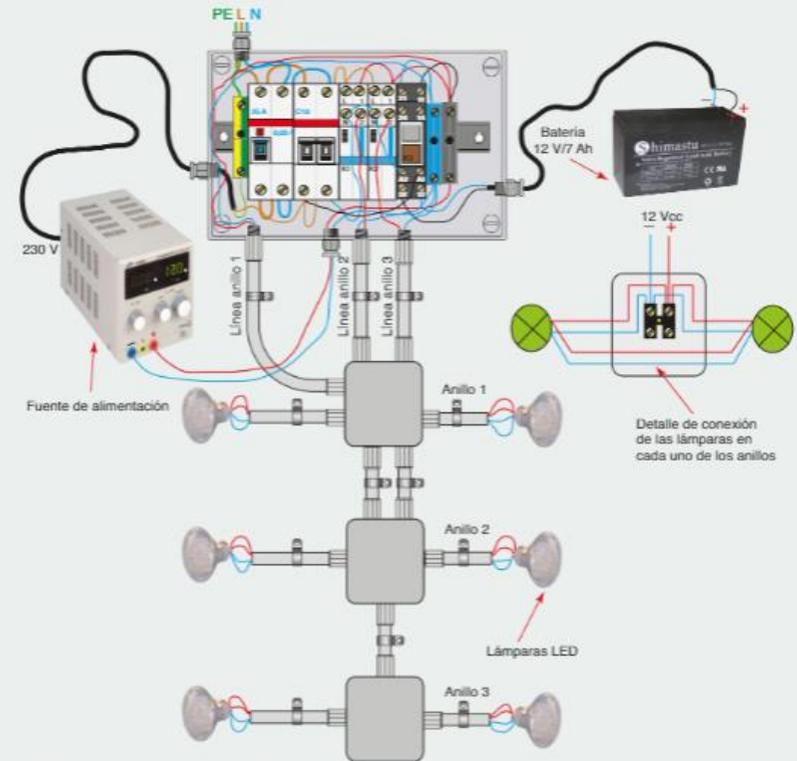


Figura 9.37. Esquema de montaje de la instalación de iluminación.

Para simular el montaje, utiliza los siguientes elementos:

- Una fuente de alimentación 230 VAC/12 VCC/1A (o similar).
- Seis lámparas led 12 VCC/ 3 W (o similar).
- Una batería de plomo-ácido 12 V/7 Ah (o similar).
- Utilizar un interruptor horario digital de dos canales; en caso contrario, emplea dos interruptores de esfera, tal como se muestra en la figura anterior.

PRÁCTICA PROFESIONAL RESUELTA 2

Material

- Un interruptor automático de 2x10A, un diferencial 2x25 A/30 mA, un relé industrial de 230 V/10 A, un zócalo para carril DIN y un interruptor horario
- Dos lámparas led de 230 V/10W, una lámpara fluorescente tubular de 18 W, una reactancia electrónica dimeable para tubo de 18 W, una lámpara de vapor de sodio de alta presión de 100 W/230 V, reactancia de doble nivel y arrancador
- Un regulador de potenciómetro y una pastilla reguladora mediante pulsador
- Dos condensadores de 8 y 13 µF
- Un pulsador, un conmutador, un interruptor, un potenciómetro de 4k7, canaleta 10x15, cables, cajas de registro, bornes de conexión, portálámparas, casquillos, etc.

Relé auxiliar o industrial conmutado doble en zócalo para carril DIM



Figura 9.38. Relé industrial conmutado doble.

Fabricación de un expositor de lámparas con diferentes tipos de regulación y control

Objetivo

Realizar el montaje de los diversos tipos de regulación de flujo luminoso que admiten las diferentes lámparas.

Desarrollo

Los montajes a realizar serán los siguientes:

- Lámpara led regulada mediante regulador de potenciómetro.
- Lámpara led regulada mediante pastilla y pulsador.
- Lámpara fluorescente tubular regulada mediante regulador por potenciómetro.
- Lámpara de vapor de sodio de alta presión regulada con reactancia de doble nivel mediante interruptor horario.

1. Representa el esquema multifilar de la instalación.

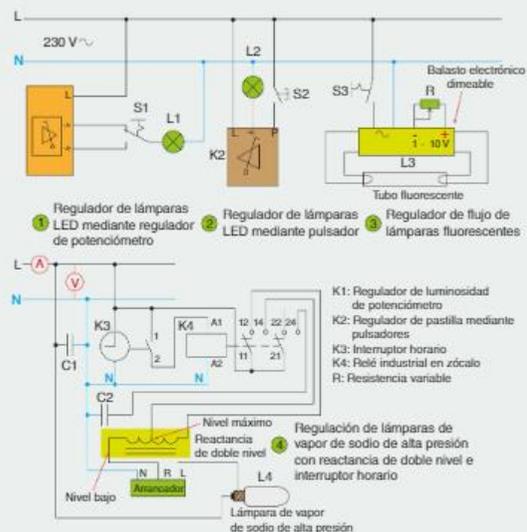


Figura 9.39. Esquema multifilar de la instalación.

- Realiza el montaje de la instalación según se muestra en la figura 9.40 y acciona los pulsadores, el interruptor, el potenciómetro y el interruptor horario, y comprueba su funcionamiento.
- Mide la tensión e intensidad de la lámpara VSAP cuando desarrolla el nivel alto de potencia y calcula la relación (coeficiente) entre la potencia aparente absorbida y la potencia nominal de la lámpara. Las lecturas obtenidas son: $V = 224 \text{ V}$; $I = 0,68 \text{ A}$.

$$\text{Por tanto: } S = 224 \text{ V} \cdot 0,68 \text{ A} = 152,3 \text{ VA}; \quad K(\text{coeficiente}) = \frac{152 \text{ VA}}{100 \text{ W}} = 1,52$$

- Calcula la sección y protección de una línea de 100 m a 230 V para alimentar 14 lámparas VSAP idénticas a las del montaje, sabiendo que dichas luminarias van instaladas en la fachada de una urbanización. Representa el esquema multifilar de la instalación, sabiendo que se activará de forma centralizada al anochecer mediante interruptor crepuscular.

Nota: se emplearán 2 cables + tierra tipo H07VV-K (conductor de cobre clase 5 con aislamiento y cubierta de PVC) bajo tubo no propagador de llama.

La potencia total de la instalación (con $\cos \phi$ mejorado a 0,95 según fabricante) será:

$$P = 14 \text{ lámparas} \cdot 152,3 \text{ VA/lámpara} \cdot 0,95 = 2025 \text{ W}$$

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \phi} = \frac{2025}{230 \cdot 0,95} = 9,26 \text{ A} \quad S = \frac{2025 \text{ W} \cdot 100 \text{ m}}{48 \cdot 6,9 \text{ V} \cdot 230 \text{ V}} = 2,65 \text{ mm}^2$$

Por tanto, la sección será de 4 mm² con protección de 20 A y tubo de diámetro 20 mm (según ITC-BT-21).

El esquema multifilar se representa en la figura 9.41.

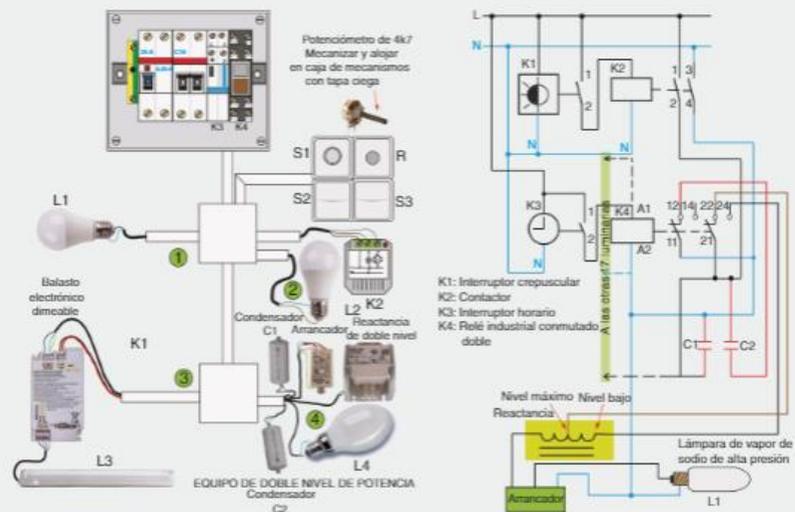


Figura 9.40. Esquema de montaje.

Figura 9.41.

EVALÚO MIS CONOCIMIENTOS

RESUELVE EN TU CUADERNO O BLOC DE NOTAS

1. Señala en cada casilla un número del 1 al 6, siendo «6» la lámpara que mejores características presenta respecto a las unidades indicadas.

Lámpara	lm/W	IRC	Horas
Fluorescente estándar			
Vapor de sodio de alta presión			
Fluorescente compacta			
Vapor de mercurio de alta presión			
Led			
Halógeno			

2. ¿Se debe regular el flujo de las lámparas de alta intensidad del 0 al 100 %?
- Sí.
 - No.
 - Solo a media y máxima potencia.
3. ¿Cuál de estas lámparas posee reencendido instantáneo?
- Vapor de mercurio de alta presión.
 - Vapor de sodio BP.
 - Led.
4. Una lámpara con una temperatura de color 2800 K es una luz:
- Fría.
 - Cálida.
 - Neutra.

5. ¿Cuál es el equipo que acompaña a una lámpara de vapor de mercurio?
- Reactancia y arrancador.
 - Reactancia.
 - No existe, ya que se conecta directamente a la red.

6. ¿Cómo se denomina el sistema electrónico que controla el funcionamiento de la lámpara led?
- Matriz.
 - Driver.
 - Retrofit.

7. La vida útil de las lámparas led, en comparación con las lámparas de incandescencia estándar, puede llegar a ser:
- El doble.
 - Hasta 50 veces mayor.
 - Igual.

8. El nivel de iluminación mide:

- El flujo luminoso recibido por unidad de superficie.
- La cantidad total de luz emitida por segundo por una fuente luminosa en todas las direcciones.
- El flujo luminoso recibido por unidad de tiempo.

9. Una lámpara de 20 W con un flujo luminoso de 5600 lm tendrá un rendimiento de:

- 112 lm/kW.
- 280 lm/W.
- 112 000 lm - W.

10. El índice local K de una estancia de 20 m de largo x 12 m de ancho y 2,8 m de altura con un plano de trabajo de 0,8 m es:

- 4,66.
- 1,68.
- 2,67.

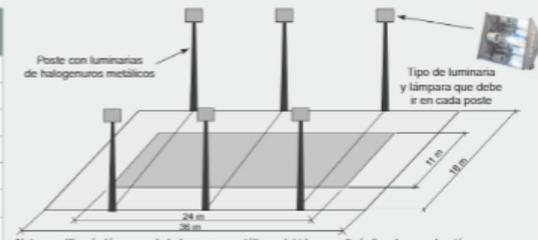
EVALÚO MI APRENDIZAJE

- Realizar el montaje eléctrico de una pantalla fluorescente 36 W/230 V, de acuerdo con el esquema de la figura 9.14 (lámpara más reactancia electrónica), respondiendo a los siguientes apartados:
 - Mide la tensión de trabajo de la lámpara.
 - Mide la tensión e intensidad de alimentación.
 - Calcula el gasto energético en 100 horas de funcionamiento (1 kWh cuesta 0,12 €).
- Realizar el montaje eléctrico de una lámpara de vapor de mercurio de 230 V/125 W, de acuerdo con el esquema de la figura 9.17 (lámpara y reactancia), respondiendo a los siguientes apartados:
 - Mide la tensión de trabajo de la lámpara transcurridos 5 minutos desde el encendido.
 - Mide la tensión e intensidad de alimentación.
 - Conecta un condensador de 10 μF y repite los apartados anteriores.
 - Deduca la relación (coeficiente) entre la potencia aparente absorbida y la potencia nominal de la lámpara en ambos casos (con condensador y sin condensador).
- Realizar el montaje eléctrico de una lámpara de halogenuros metálicos de 230 V/100 W, su reactancia y su arrancador, de acuerdo con el esquema de la figura 9.21. Resuelve los siguientes apartados:
 - Mide la tensión de trabajo de la lámpara, transcurridos 5 minutos desde el encendido.
 - Mide la tensión e intensidad de alimentación.
 - Conecta un condensador de 6 μF y repite los apartados anteriores.
 - Conecta un condensador de 13 μF y repite los apartados anteriores.
 - Deduca la relación (coeficiente) entre la potencia aparente absorbida y la potencia nominal de lámpara en los 3 casos (sin condensador, con condensador de 6 μF y con condensador de 13 μF).
- Se desea iluminar una cancha deportiva cuyas dimensiones son de 24 x 11 m y cuyo perímetro está rodeado por una superficie, siendo el total de 36 x 18 m. Sobre dicho perímetro, se colocarán proyectores de halogenuros metálicos sobre 6 postes.

Se pide:

 - Seleccionar el tipo de lámpara de la tabla ofrecida por el fabricante y, en función de eso, determinar el número total de lámparas y las que deben ir en cada uno de los 6 postes si el nivel de iluminación necesario para la pista de la cancha deportiva es de 350 lux, y se estima un $F_u = 0,65$ y un $F_c = 0,6$.
 - Calcular la potencia eléctrica total instalada.

Potencia (W)	Flujo luminoso (lm)
75	5700
100	8500
150	13800
250	20000
400	33000
1000	80000
2000	210000



Nota: se utilizarán lámparas de halogenuros metálicos, debido a su alto índice de reproducción de colores (IRC), lo que las hace idóneas para iluminación de canchas deportivas, además de permitir una buena calidad de iluminación para la realización de fotografías o retransmisiones deportivas.

Figura 9.42. Plano de ubicación de luminarias en la cancha deportiva.

Tabla 9.3. Características de las lámparas de halogenuros metálicos dadas por el fabricante GEWISS.

EVALÚO MI APRENDIZAJE

5. Se desea iluminar una nave de un taller de mecanizado de piezas, donde en la zona de máquinas (tornos, fresadoras, rectificadoras, etc.) se necesita un nivel de iluminación elevado, dadas las características de la actividad. Dicho nivel es de 600 lux. En la zona de tránsito, el nivel de iluminación es menor, siendo este de 200 lux. En el plano de la figura, se indican las dimensiones de cada una de las zonas a iluminar.

Se pide:

- Determinar el número de luminarias en cada una de las zonas, teniendo en cuenta que cada luminaria tendrá una lámpara de vapor de mercurio de alta presión de 250 W, cuyo flujo luminoso indicado por el fabricante es de 15 000 lm.
- Dibujar el esquema de distribución en planta del alumbrado, realizando una distribución de tres líneas de alumbrado repartidas de forma uniforme por todo el taller, indicando sobre dicho plano a qué fase se conectarán cada una de las luminarias.
- Calcula la potencia de cada una de las líneas, así como la sección de los conductores y las protecciones, teniendo en cuenta que la distancia de todas las líneas es de 58 m.

Nota: se tendrán en cuenta un **factor de utilización de 0,47**, calculado en función de los colores de las paredes, techo y suelo, altura, etc., y un **factor de conservación de 0,68**, calculado teniendo en cuenta la pérdida de luz por envejecimiento de las lámparas y ensuciamiento por el polvo de ambiente.

Teniendo en cuenta estos datos, dividir el resultado del número de lámparas por el producto de estos dos valores para obtener el número de lámparas totales en cada una de las zonas.



— Canalización de las líneas de alumbrado

Nota: factor de utilización 0,47.
Factor de conservación 0,68

Figura 9.43. Plano del taller de mecanizado.



(1) Debido a la actividad del taller, es imprescindible que las luminarias posean una lámpara auxiliar halógena. Esto permitirá que, en casos de suministro, cuando se restablezca de nuevo la alimentación, la nave quede iluminada por esta lámpara hasta que la lámpara principal (lámpara de vapor de mercurio) haya arrancado de nuevo.

6. En unos laboratorios, se decide cambiar las 84 luminarias existentes compuestas cada una por 4 tubos fluorescentes de 20 W, 1500 lm por otras nuevas luminarias adosadas en el techo en cuyo interior se alojan 4 tubos led de 14 W, 1200 lm (tabla 9.2).

El nivel de iluminación exigido en el laboratorio es de 400 lux. Las dimensiones son: 35 m de largo, 14 m de ancho y 3,15 m de altura. El plano de trabajo de las mesas del laboratorio se encuentra a 0,82 m. Se tendrá en cuenta que el techo y paredes son de color blanco y el plano de trabajo, de color crema (mesas de trabajo). Se estima un factor de conservación por envejecimiento de las lámparas y mantenimiento de las mismas de $fc = 0,82$.

Se pide:

- Calcular el número de luminarias led necesarias.
- Calcular el ahorro anual que supone el cambio (precio energía eléctrica: 0,12 €/kWh).

RETO PROFESIONAL

Material

■ Cuaderno

Estudio comparativo entre lámparas led y lámparas de descarga para iluminación interior de una nave industrial

Planteamiento

Se va a diseñar la instalación de alumbrado de una nave industrial de 30 m de largo, 15 m de ancho y 7,5 m de altura. Para la iluminación directa de la nave, se va a elegir entre dos tipos de luminarias de uso industrial con flujos luminosos similares: luminarias de vapor de mercurio de alta presión (VMAP) y luminarias led.

Las paredes son de hormigón (0,3), el suelo es de hormigón fratasado (0,1) y el techo es de chapa galvanizada (0,7). Las luminarias se instalan a 6,5 m de altura. El nivel de iluminación requerido para el proceso industrial es de 700 lux, medidos a nivel del suelo (el plano de trabajo será este nivel).

Se establece un factor de conservación $fc = 0,65$. Para obtener este factor, se ha tenido en cuenta que se instalan en un ambiente industrial con ciclos de mantenimiento cada 3 años.

Desarrollo

1. Las características dadas por el fabricante son las siguientes:

a) Luminarias con lámparas de vapor de mercurio de alta presión (VMAP) de 250 W (19 000 lm).

Luminaria: 4ME450 P-ME 1x24W-P250W Flujo luminoso lámpara: 19.000 lm	Reflexancias para techo, paredes y plano de trabajo o suelo (E/E)												
	Techo	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
Pared	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Suelo	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Índice local K	0,6	0,46	0,45	0,44	0,45	0,42	0,37	0,36	0,35	0,35	0,32	0,30	0,28
0,8	0,53	0,50	0,52	0,50	0,54	0,49	0,42	0,39	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31
1,00	0,60	0,55	0,58	0,56	0,54	0,49	0,47	0,44	0,45	0,42	0,39	0,37	0,35
1,25	0,65	0,60	0,65	0,61	0,58	0,54	0,51	0,48	0,49	0,46	0,45	0,43	0,41
1,50	0,70	0,63	0,67	0,64	0,62	0,57	0,55	0,52	0,52	0,50	0,48	0,46	0,45
2,00	0,77	0,68	0,75	0,70	0,66	0,65	0,60	0,57	0,56	0,54	0,50	0,48	0,46
2,50	0,81	0,72	0,77	0,75	0,69	0,66	0,65	0,60	0,59	0,58	0,55	0,53	0,51
3,00	0,84	0,74	0,80	0,76	0,72	0,69	0,65	0,65	0,65	0,61	0,60	0,58	0,55
4,00	0,88	0,76	0,84	0,79	0,74	0,72	0,68	0,66	0,64	0,62	0,57	0,56	0,54
5,00	0,91	0,78	0,86	0,80	0,75	0,71	0,69	0,68	0,65	0,64	0,58	0,57	0,55

Tabla 9.4. Tabla de cálculo del factor de utilización luminaria VMAP 250 W.

b) Luminarias con lámparas led de 200 W (20 000 lm).

Luminaria: BY461P 1xLED200S Flujo luminoso lámpara: 20.000 lm	Reflexancias para techo, paredes y plano de trabajo o suelo (E/E)												
	Techo	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,0
Pared	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Suelo	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Índice local K	0,6	0,57	0,55	0,57	0,56	0,55	0,50	0,50	0,46	0,50	0,45	0,46	0,44
0,8	0,67	0,64	0,67	0,65	0,64	0,59	0,58	0,55	0,58	0,55	0,53	0,51	0,49
1,00	0,75	0,71	0,75	0,73	0,71	0,66	0,66	0,62	0,65	0,62	0,60	0,58	0,56
1,25	0,85	0,78	0,82	0,80	0,77	0,75	0,72	0,69	0,72	0,68	0,67	0,65	0,63
1,50	0,89	0,82	0,87	0,84	0,82	0,77	0,77	0,74	0,76	0,75	0,72	0,70	0,68
2,00	0,97	0,89	0,96	0,92	0,88	0,85	0,84	0,81	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75
2,50	1,01	0,91	1,01	0,97	0,92	0,89	0,89	0,86	0,87	0,85	0,84	0,82	0,80
3,00	1,07	0,96	1,05	1,00	0,95	0,92	0,91	0,89	0,90	0,88	0,87	0,85	0,83
4,00	1,12	0,99	1,10	1,04	0,98	0,96	0,95	0,95	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87
5,00	1,16	1,01	1,11	1,06	1,00	0,98	0,97	0,95	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89

Tabla 9.5. Tabla de cálculo del factor de utilización luminaria led 200 W.

RETO PROFESIONAL

continuación

2. Calcula el flujo luminoso necesario y el índice local K de la nave.

$$\Phi = E \cdot S = \dots\dots\dots (\text{lm})$$

$$K = \frac{a \cdot b}{h(a+b)} = \dots\dots$$

3. Calcula el factor utilización para cada una de las luminarias utilizando las tablas dadas por el fabricante.

Luminaria	K	Techo	Pared	Suelo	Factor de utilización	Factor de conservación
Luminaria V.M.A.P.	0,65
Luminaria led	

4. Calcula el flujo luminoso total necesario para cada luminaria.

Flujo luminoso total Φ_{TOTAL} (lm)	Φ_{TOTAL} VMAP (lm)	Φ_{TOTAL} led (lm)
$\Phi_{\text{TOTAL}} = \frac{\text{Flujo luminoso necesario}}{\text{Factor de utilización} \cdot \text{Factor de conservación}}$

5. Calcula el número mínimo de luminarias necesarias (n^2 par, de un tipo y de otro), teniendo en cuenta que cada luminaria posee una sola lámpara ($n = 1$). Calcula la potencia total instalada para cada caso.

Nº mín. de luminarias	VMAP	Led
$N = \frac{\Phi_{\text{TOTAL}}}{n \cdot \Phi_{\text{Lámp.}}}$	Nº luminarias =..... Pot. total =..... (kW)	Nº luminarias =..... Pot. total =..... (kW)

6. Con arreglo a las ecuaciones siguientes, calcula la distancia entre luminarias y representa sobre el plano de la figura los puntos donde se deben ubicar las luminarias led.

$$N_{\text{ANCHO}} = \sqrt{\frac{N_{\text{TOTAL}} \cdot \text{ancho}}{\text{largo}}} = \dots\dots\dots$$

$$N_{\text{LARGO}} = N_{\text{ANCHO}} \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right) = \dots\dots\dots$$

$N_{\text{TOTAL}} = N^2$ de luminarias totales a instalar; $N_{\text{ANCHO}} = N^2$ de luminarias colocadas a lo ancho;

$N_{\text{LARGO}} = N^2$ de luminarias colocadas a lo largo.

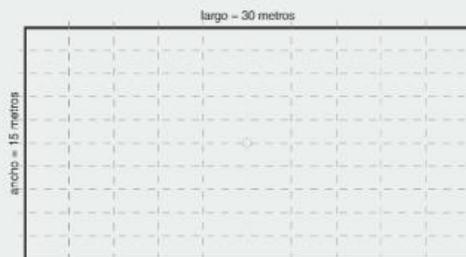


Figura 9.44.

ORGANIZO MIS IDEAS

