



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

DESARROLLO DE PRÁCTICAS SOBRE ILUMINACIÓN

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

CESAR GODINES BASTIDA

ASESOR:

ING. ARTURO ÁVILA VÁZQUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES-CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTEZ FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Desarrollo de prácticas sobre iluminación

Que presenta el pasante: CESAR GODINES BASTIDA
Con número de cuenta: 41200335-0 para obtener el Título de la carrera: Ingeniería Mecánica Eléctrica

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 08 de enero de 2018.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Ing. Casildo Rodríguez Arciniega	
VOCAL	Ing. Oscar Cervantes Torres	
SECRETARIO	Ing. Arturo Ávila Vázquez	
1er. SUPLENTE	Ing. José Gustavo Orozco Hernández	
2do. SUPLENTE	Ing. Ángel Isaías Lima Gómez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

AGRADECIMIENTOS

A mi madre.

Por el apoyo que me brinda en todo momento, por sus valores, por la motivación constante, por creer en mí y también por enseñarme a ser una persona de bien

A mi padre.

Por ser un ejemplo a seguir que me motiva a salir adelante, y superarme cada día para ser mejor en cada aspecto de la vida.

A mis familiares.

Por su apoyo, ejemplo y motivación.

A mi Asesor el Ing. Arturo Ávila.

Por haber creído en mí, y por apoyarme en este trabajo.

A la universidad.

Por formarme como profesional y por las grandes experiencias vividas que nunca olvidaré.

TITULO

DESARROLLO DE PRÁCTICAS SOBRE ILUMINACIÓN

ÍNDICE

1. OBJETIVOS.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	1
3. METODOLOGÍA.....	2
4. CAPITULO I TEORÍA DE LA ILUMINACIÓN.....	3
a. LA LUZ.....	3
b. EL OJO Y LA VISIÓN.....	8
c. PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA MATERIA.....	17
d. EL COLOR.....	18
e. DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN.....	20
i. FLUJO LUMINOSO.....	20
ii. INTENSIDAD LUMINOSA.....	20
iii. ILUMINACIÓN.....	22
iv. LUMINANCIA O BRILLANTEZ.....	22
v. EFICIENCIA LUMINOSA.....	23
f. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES.....	23
i. LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO DE LA DISTANCIA.....	23
ii. LEY DEL COSENO.....	24
iii. ILUMINACIÓN NORMAL, HORIZONTAL, VERTICAL Y EN PLANOS INCLINADOS.....	25
iv. LEY DE LAMBERT.....	28
5. CAPITULO II LÁMPARAS Y LUMINARIAS.....	30
a. LUMINARIAS.....	3
i. DIFUSORES Y REFLECTORES.....	31
ii. CLASIFICACIÓN DE LAS LUMINARIAS.....	34
b. LÁMPARAS.....	41
i. LÁMPARAS INCANDESCENTES.....	42
ii. LÁMPARAS DE DESCARGA EN GAS.....	45
iii. LÁMPARAS DE VAPOR DE MERCURIO.....	45

iv.	LÁMPARAS DE VAPOR DE SODIO.....	58
v.	LÁMPARAS LED.....	64
6.	CAPITULO III MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN.....	72
a.	MÉTODO PUNTO POR PUNTO.....	72
b.	MÉTODO DE LUMEN O FLUJO TOTAL.....	73
c.	MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL.....	75
7.	CAPITULO IV PRÁCTICA 1 “LUXÓMETRO”.....	79
8.	CAPITULO V PRÁCTICA 2 “LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO”.....	84
9.	CAPITULO VI PRÁCTICA 3 “OBTENCIÓN DE LA CURVA FOTOMÉTRICA”.....	88
10.	CAPITULO VII PRÁCTICA 4 “MÉTODO DE LOS 9 PUNTOS”.....	94
11.	CAPITULO VIII PRÁCTICA 5 “MÉTODO PUNTO POR PUNTO”.....	101
12.	CAPITULO IX PRÁCTICA 6 “MÉTODO DE LUMEN”.....	106
13.	CAPITULO X PRÁCTICA 7 “MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL”.....	112
14.	CONCLUSIONES.....	120
15.	BIBLIOGRAFÍA.....	121

OBJETIVOS

1. Desarrollar e instrumentar prácticas para el laboratorio de iluminación.
2. Evaluar, diseñar y optimizar sistemas de iluminación, utilizando distintos métodos de cálculo.

INTRODUCCIÓN

La luz eléctrica es la más cómoda, limpia y segura, de las otras formas de iluminación como son las velas y lámparas de queroseno, las cuales son fuentes de luz inseguras, poco eficientes y contaminan, por esta razón es necesario conocer cómo utilizarla para obtener una buena iluminación con un bajo consumo eléctrico.

La vista dispone de dos mecanismos básicos denominados acomodación y adaptación; mientras que la acomodación permite enfocar la vista en un punto específico según la distancia, de acuerdo con el interés y la necesidad del operario, la adaptación hace posible ajustar la sensibilidad de la vista al nivel de iluminación existente.

La capacidad de nuestros ojos de adaptarse a condiciones deficientes de iluminación nos ha llevado a restar importancia a la iluminación adecuada que debe de tener nuestro entorno, tenemos que tener en cuenta que es esencial realizar el diseño de iluminación para cualquier sistema de iluminación por más simple que este sea.

El punto débil de la visión aparece cuando se hace necesario observar pequeños detalles muy cercanos con un nivel de iluminación bajo; en estas circunstancias se incrementan los errores, y surgen la fatiga visual y mental, por lo que es explicable que para tareas visuales con esas características se busquen soluciones tales como incrementar el nivel de iluminación.

Una buena iluminación nos ofrecerá un entorno adecuado, que permite al hombre, realizar sus tareas de manera más segura y productiva, las cuales pueden ser desde simplemente caminar, hasta realizar tareas que requieran una gran exactitud visual.

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán cuenta con la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista, la cual tiene un módulo en iluminación que está constituida por 3 materias que son; iluminación interior, iluminación exterior e iluminación por computadora, al tratarse de materias recientes, aún no se tienen establecidos sus respectivos laboratorios, debido a que no se cuenta con prácticas de laboratorio y las instalaciones del laboratorio de iluminación aún están en

proceso, por estas razones se realizara un apoyo a este laboratorio con el desarrollo de las prácticas de iluminación, con el fin de empezar a desarrollar el laboratorio de iluminación.

METODOLOGÍA

La metodología a emplear es la misma que se ocupa en las demás prácticas de los distintos laboratorios, la cual consiste en dividir la práctica de laboratorio es los siguientes puntos:

- 1) **OBJETIVOS:** En este apartado se colocan los objetivos que se quieren lograr al realizar la práctica.
- 2) **INTRODUCCIÓN:** Se refiere a la teoría que se tiene que tener sobre el tema antes de poder comenzar la práctica.
- 3) **MATERIAL:** Aquí se mencionan los materiales y herramientas que se ocuparan para la realización de la práctica.
- 4) **DESARROLLO:** En el desarrollo se explican los pasos a seguir para la realización de la práctica y se realiza una recopilación de datos para posteriormente ser analizados.
- 5) **CUESTIONARIO:** Consiste en una serie de preguntas para demostrar lo aprendido al realizar la práctica.
- 6) **CONCLUSIONES:** Es necesario que se coloquen a las conclusiones que se llegaron después de haber realizado la práctica, para poder asimilar mejor lo aprendido en la práctica.

Con esto los alumnos podrán desarrollar habilidades analíticas y experimentales mediante la ejecución y observación de las prácticas.

CAPITULO I TEORÍA DE LA ILUMINACIÓN

LA LUZ

La luz se puede definir como una forma de energía radiante que se evalúa en cuanto a su capacidad para producir la sensación de la visión.

La energía visible es una porción sumamente pequeña del *espectro electromagnético*, enorme gama de energía radiante que se desplaza a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Todas estas radiaciones son parecidas en su naturaleza y en la velocidad a que se transmiten (300,000 km por segundo), diferenciándose tan solo en su frecuencia y longitud de onda, así como en las formas en que se manifiestan.

Una onda se puede definir como una perturbación que se propaga desde el punto en que se produjo hacia el medio que rodea ese punto.

Las ondas mecánicas propagan este tipo de energía a través de un medio material elástico. Son ondas longitudinales porque en ellas coincide la vibración de las partículas con la dirección de la propagación. Dos ejemplos son las vibraciones de un muelle y el sonido. En un muelle las vibraciones se propagan en una sola dirección y en el caso del sonido, se propagan tridimensionalmente.

Las ondas electromagnéticas propagan energía producida por oscilaciones de campos eléctricos y magnéticos y no necesitan un medio material de propagación. Por ejemplo, la luz.

Características de las ondas

Longitud de onda (λ)

La distancia λ entre las crestas de dos ondas sucesivas se denomina longitud de onda (figura 1.1). Como la longitud de onda multiplicada por la frecuencia es igual a la velocidad, que es constante, la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda.

$$\lambda = v T \text{ (m)}$$

v = velocidad de propagación

T = tiempo que tarda en realizar un ciclo (Periodo)

λ = Longitud de onda

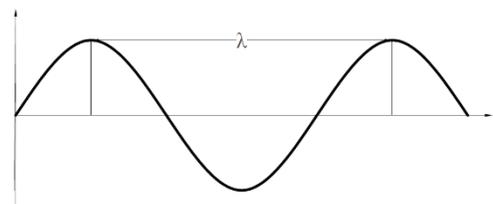


Figura 1.1 Longitud de onda

Frecuencia (f)

La frecuencia se puede definir como una magnitud que mide el número de periodos que tienen lugar en la unidad de tiempo. El Sistema Internacional señala que las frecuencias se miden en Hertz (Hz). Un Hz es un suceso que se repite una vez por segundo; por eso, la unidad también se conoce como ciclo por segundo (cps).

Otras unidades vinculadas a las frecuencias son las revoluciones por minuto (rpm), los radianes por segundo (rad/s) y los golpes por minuto (bpm).

El periodo es inversamente proporcional a la frecuencia matemáticamente sería:

$$T = \frac{1}{f}$$

Por lo tanto tenemos que:

$$\lambda = v T = v \frac{1}{f} = \frac{v}{f}$$

Por consiguiente, la frecuencia es directamente proporcional a la velocidad de propagación, e inversamente proporcional a la longitud de onda.

$$f = \frac{v}{\lambda} (s^{-1} = \text{Ciclos/Segundo} = \text{Hz})$$

La longitud de onda disminuye con el aumento de la frecuencia.

La frecuencia es fija e independiente del medio por el que se propaga la onda, y por ello es una característica importante para clasificar las ondas electromagnéticas.

Velocidad de propagación (v)

La velocidad de propagación de una onda depende del tipo de onda, la elasticidad del medio por el cual se propaga y su rigidez.

Por ejemplo la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el vacío es de 300,000 km por segundo.

Matemática mente la velocidad de propagación es:

$$v = \lambda \cdot f \text{ (m/s)}$$

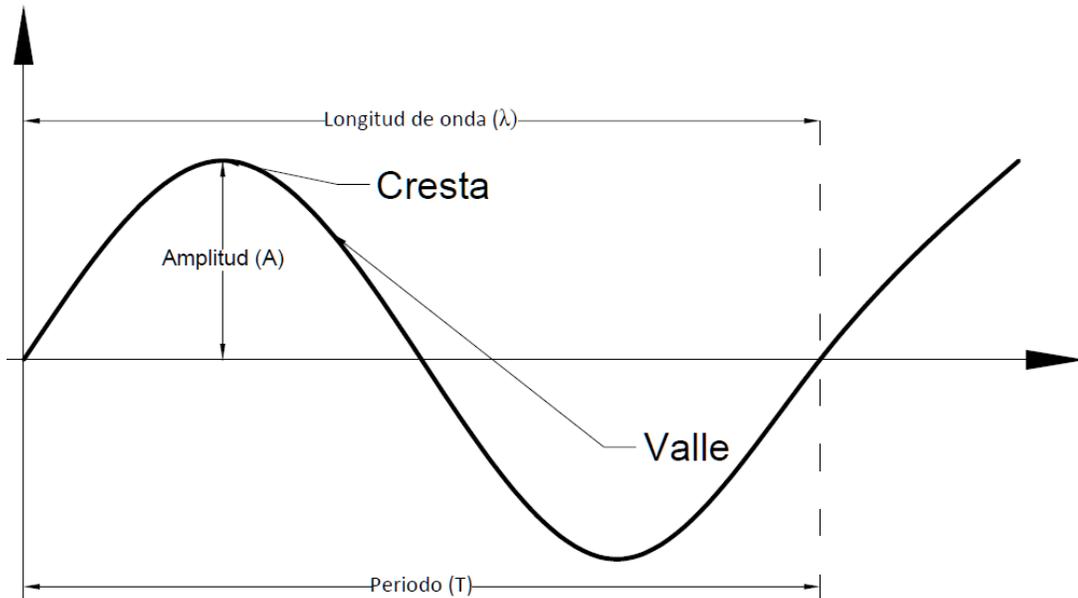


Figura 1.2 Elementos de una onda

Ondas de luz

- La altura de las crestas (Amplitud) determina el brillo o intensidad de luz.
- La distancia entre dos crestas contiguas o longitud de onda determina el color de la luz y la capacidad de afectar o no al material fotosensible.

La teoría corpuscular y la teoría ondulatoria

La cuestión de si la luz está compuesta por partículas o es un tipo de movimiento ondulatorio ha sido una de las más interesantes en la historia de la ciencia.

La teoría corpuscular fue propuesta por Isaac Newton

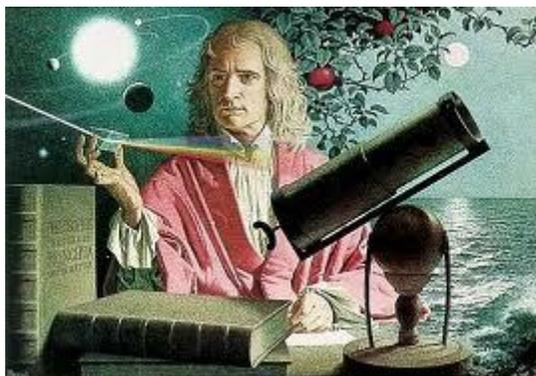


Figura 1.3 Isaac Newton (1642 - 1727) (teoría sobre el origen de la luz, s.f.)

A principios del siglo XVIII, Newton propone que la luz está compuesta por partículas luminosas, de distinto tamaño según el color, que son emitidas por los cuerpos luminosos y que producen la visión al llegar a nuestros ojos.

Newton se apoyaba en los siguientes hechos:

- La trayectoria seguida por los corpúsculos es rectilínea y por ello la luz se propaga en línea recta.
- Cuando se interpone un obstáculo, los corpúsculos no pueden atravesarlo y así se produce la sombra.
- La reflexión se debe al rebote de los corpúsculos sobre la superficie reflectora.

Sin embargo no se podía explicar:

- Los cuerpos, al emitir corpúsculos, debían perder masa y esto no se había observado.
- Ya se conocía el fenómeno de la refracción y no podía explicarse por qué algunos corpúsculos se reflejaban y otros se refractaban. Según Newton, la refracción se debía a un aumento de velocidad de los corpúsculos de luz.

La teoría ondulatoria fue propuesta por Christian Huygens en el año 1678



Figura 1.4 Christian Huygens (1629 – 1695) (teoría sobre el origen de la luz, s.f.)

Huygens, propone que la luz es una onda basándose en las observaciones siguientes:

- La masa de los cuerpos que emiten luz no cambia.
- La propagación rectilínea y la reflexión se pueden explicar ondulatoriamente
- La refracción es un fenómeno típico de las ondas.

Sin embargo también quedaban cosas que no se podía explicar:

- No se encontraba una explicación para la propagación de la luz en el vacío, ya que se pensaba que todas las ondas necesitaban un medio material para propagarse.
- No se habían observado en la luz los fenómenos de interferencia y de difracción que ya se conocían para las ondas.

La teoría corpuscular de Newton fue aceptada durante todo el siglo XVIII, posiblemente por la gran fama y autoridad de éste.

En el siglo XIX se observan en la luz los fenómenos de interferencia y difracción y se revitaliza la idea de la luz como onda.

En el siglo XX aceptamos que la luz se comporta como onda y como partícula.

Espectro electromagnético

Las ondas electromagnéticas se propagan a la misma velocidad en el vacío, por lo tanto, las características que las diferencia es su longitud de onda y frecuencia. Entre las radiaciones electromagnéticas debemos incluir los Rayos Gamma, Rayos X, Radiación Ultravioleta, Luz, Rayos Infrarrojos, Microondas, Ondas de Radio y otras radiaciones.

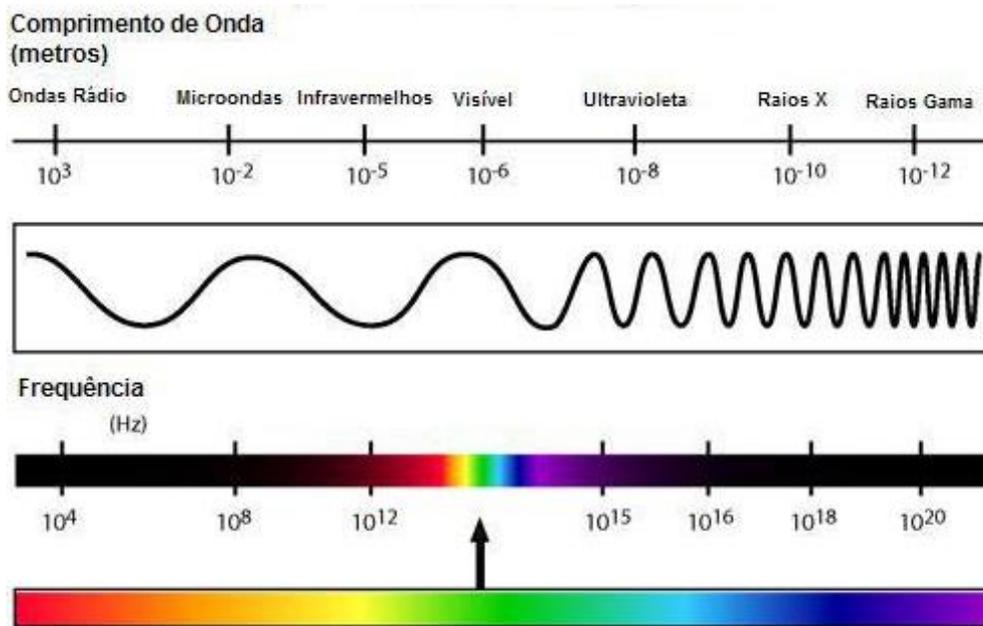


Figura 1.5 Espectro electromagnético (biofisicainteressante.blogspot.es)

Espectro de luz

El ojo humano es sensible a la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nanómetros aproximadamente, es lo que denominamos luz visible. Las longitudes de onda más cortas del espectro visible corresponden a la luz violeta y la más larga a la luz roja, y entre estos extremos se encuentran todos los colores del arco iris. Las ondas electromagnéticas con longitudes de onda inferiores a las de la luz visible se denominan rayos ultravioleta, y las que poseen longitudes de onda superiores, se conocen como ondas infrarrojas.

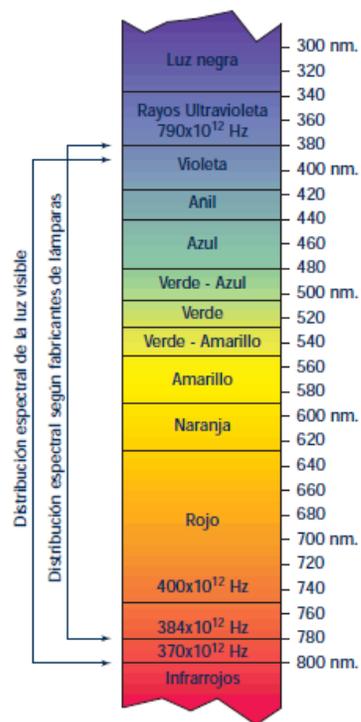


Figura 1.6 Clasificación del espectro visible (INDALUX, 2002)

Hay que tener en cuenta que los intervalos de longitud de onda (o de frecuencia) en los que se divide el espectro electromagnético no están a veces bien definidos y frecuentemente se solapan.

EL OJO Y LA VISIÓN

El ojo es el órgano fisiológico del sentido de la vista, mediante el cual se experimentan las sensaciones de luz y color.

Para poder experimentar el sentido de la vista se requieren de tres elementos.

- La fuente productora de luz o radiación luminosa

- Un objeto a iluminar que necesitamos que sea visible.
- El ojo, que recibe la energía luminosa y la transforma en imágenes que son enviadas al cerebro para su interpretación.

Estructura del ojo

En la figura 1.7 se representa un corte longitudinal esquemático del ojo humano, en el que se puede apreciar su constitución anatómica.

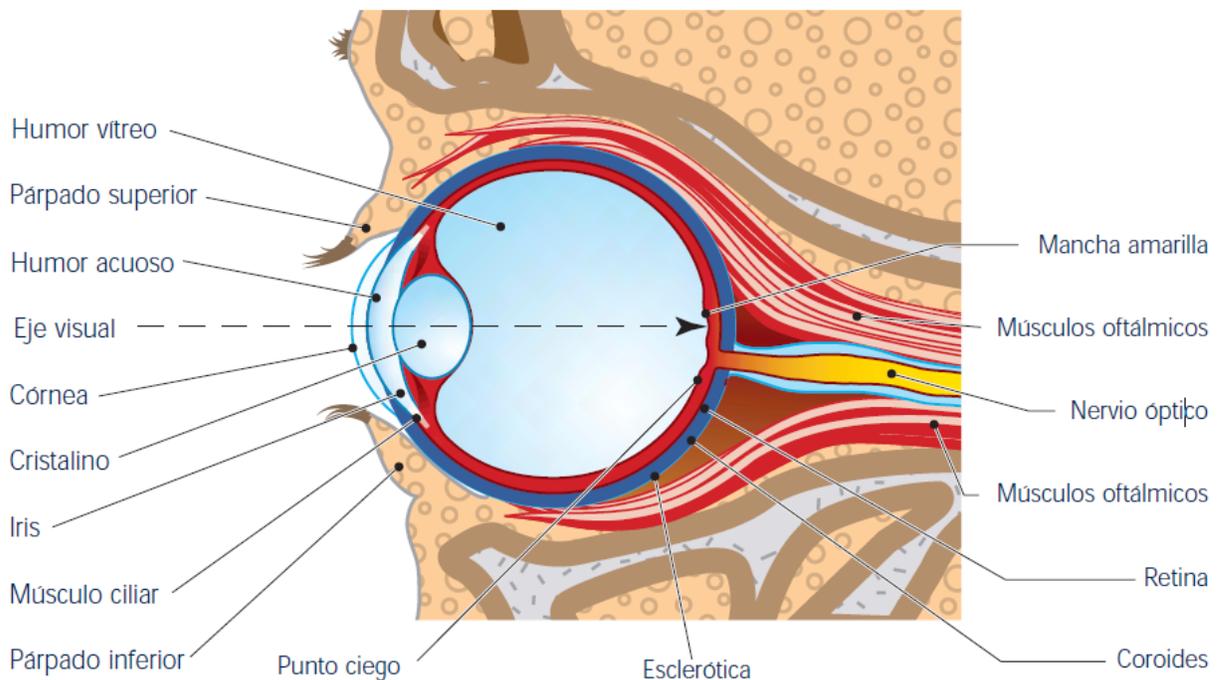


Figura 1.7 Estructura del ojo humano (INDALUX, 2002)

Globo ocular: Cámara que sirve para la formación de imágenes en la retina.

Párpado: Pliegue de piel que protege el ojo y que, en condiciones de luz muy brillantes, ayuda a regular la cantidad de luz que llega a él.

Cornea: Porción transparente de la membrana exterior que rodea al ojo; sirve como parte del sistema refractor.

Iris: Parte coloreada (azul, Marrón) del ojo que funciona como diafragma, controlando la cantidad de luz que entra a él.

Pupila: Abertura en el centro del iris, por la que entra la luz en el ojo. El tamaño de la abertura se controla por la acción de músculos involuntarios.

Cristalino: Capsula transparente situada detrás del iris, cuya forma puede cambiar para enfocar objetos a distintas distancias.

Músculo ciliar: Músculo en forma de anillo que ajusta la tensión aplicada al cristalino, cambiando así su curva y enfocando objetos cercanos o lejanos.

Retina: Superficie sensible a la luz, situada en la parte posterior del globo ocular. Contiene una delicada película de fibras nerviosas que parten del nervio óptico y que terminan en pequeñísimas estructuras con forma de conos y bastoncillos.

Conos: Receptores de la retina que hacen posible la discriminación de los detalles finos y la percepción del color. Son insensibles a los niveles bajos de iluminación: se encuentran principalmente cerca del centro de la retina, con mayor concentración en la fovea, zona de 0.3 mm de diámetro aproximadamente, que solo está compuesta de conos. Es en la fovea donde el ojo enfoca, involuntariamente, la imagen de un objeto que deba ser examinada minuciosamente.

Bastones: Receptores de la retina, sensibles a niveles bajos de iluminación. No responde al color. La parte más superficial de la retina, compuesta principalmente de bastoncillos, no ofrece una visión precisa, pero es muy sensible al movimiento y a las oscilaciones luminosas.

Mácula: Mancha amarilla situada en el polo posterior de la retina, sobre el eje óptico, donde se produce la fijación nítida y precisa de detalles y colores. En su centro se encuentra la fovea, que sólo está formada por conos.

Púrpura retina: Es un líquido purpúreo que se encuentra en los bastones, sensible a la luz, y se decolora rápidamente cuando es expuesto a ella. Su regeneración es un factor importante en la adaptación a la oscuridad.

Punto ciego: Es el punto de la retina por donde entra en el ojo el nervio óptico, el cual conduce las sensaciones de luz al cerebro. En este punto no hay bastones ni conos y por consiguiente un estímulo de luz no provoca sensación alguna.

Formación de imágenes

De los objetos iluminados o con luz propia, situados en el campo visual del ojo, parten rayos luminosos que atraviesan la córnea y el humor vítreo (acuoso). El iris, mediante la abertura de la pupila, controla la cantidad de luz que se refracta a través del cristalino para incidir finalmente en la retina, donde el pigmento fotosensible de los conos y bastones la registran en imágenes invertidas y mucho más pequeñas de lo natural, al igual que ocurre en una cámara fotográfica. Una vez recibidas y formadas las imágenes en la retina, a través del nervio óptico son enviadas al cerebro, que se encarga de rectificar su posición e interpretarlas.

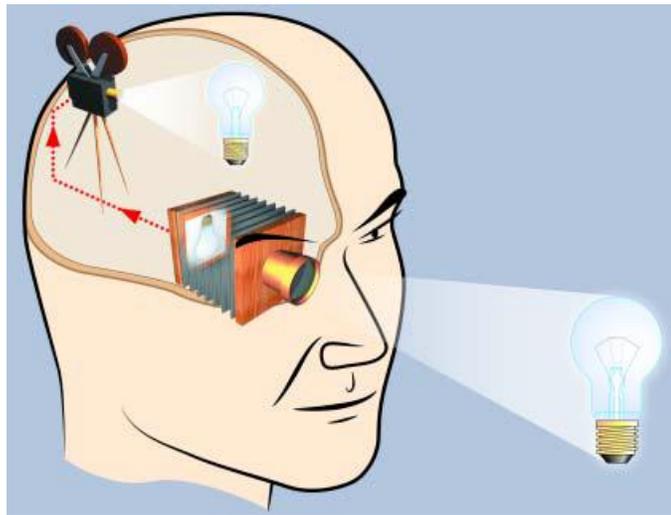


Figura 1.8 Formación de imagen y su rectificación en el cerebro. (INDALUX, 2002)

Características visuales del ojo

Acomodación

Cuando el cristalino presenta su forma más aplanada, el ojo normal está enfocado sobre objetos en el infinito. Para enfocar un objeto más cercano, particularmente dentro de los 6 metros, es preciso aumentar la convexidad del cristalino mediante la contracción de los músculos ciliares. Cuanto más cercano esté el objeto, más convexo debe hacerse el cristalino; esto es parte del proceso conocido como acomodación.

La acomodación incluye también cambios en el diámetro de la pupila. Cuando el ojo se enfoca sobre objetos distantes la pupila es relativamente grande. Cuando la atención se fija en un objeto visual cercano la pupila se contrae algo, logrando así una apreciación más penetrante, pero

admitiendo menos luz en el ojo.

Adaptación.

El ojo es capaz de trabajar en un amplísimo campo de niveles de iluminación, mediante un proceso conocido como adaptación, que incluye un cambio en el tamaño de la abertura de la pupila, al mismo tiempo que unas variaciones fotoquímicas en la retina.

El tamaño de la abertura de la pupila obedece principalmente a la cantidad de luz recibida en el ojo. En una luz muy tenue la pupila se dilata, pero a medida que la luz aumenta la abertura se contrae. Esto es particularmente perceptible cuando se pasa de una zona bien iluminada a otra más oscura, o cuando una fuente de luz brillante entra dentro del ámbito de la visión. El cambio en la retina implica un equilibrio del grado de regeneración de las sustancias fotoquímicas presentes en aquella frente a las necesidades del ojo en una situación dada.

El tiempo requerido para el proceso de adaptación depende del previo estado de adaptación y de la magnitud del cambio. En general la adaptación a un nivel más alto de iluminación se lleva a cabo más rápidamente que en sentido contrario. La mayor intensidad de adaptación suele tener lugar durante el primer minuto, mientras que el proceso de adaptación a la oscuridad se verifica muy rápidamente en los 30 primeros minutos y para la completa adaptación a la oscuridad puede ser necesaria una hora. Estos son hechos que los ingenieros deben considerar en la iluminación de cines, túneles o cualquier lugar en donde la gente pase bruscamente de un nivel de luz a otro.

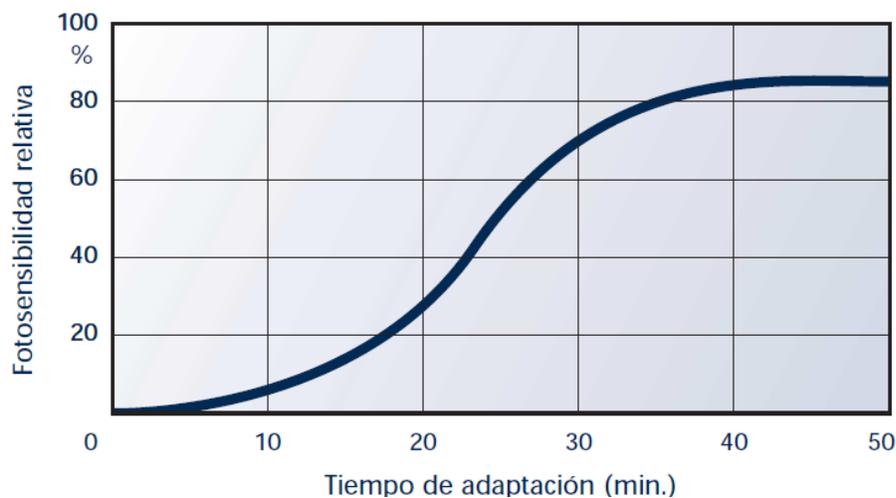


Figura 1.9 Curva de fotosensibilidad relativa del ojo respecto al tiempo de adaptación. (INDALUX, 2002)

Curva de sensibilidad del ojo.

Las radiaciones de longitud de onda comprendidas entre 380 nm. (Ultravioleta) y 780 nm. (Infrarrojos) son transformadas por el ojo en luz. Fuera de esta gama el ojo no ve, es ciego y no percibe nada. Todas las fuentes luminosas tienen su propia radiación o mezcla de ellas comprendida dentro de dichos límites.

El ojo no es igualmente sensible a la energía de todas las longitudes de onda o colores. Experimentos en un gran número de personas sometidas a observación han establecido una curva de sensibilidad del ojo que da la respuesta del ojo normal a iguales cantidades de energía con distintas longitudes de onda. La máxima sensibilidad está en el amarillo verdoso, con una longitud de onda aproximada de 555 nm, mientras que comparativamente la sensibilidad en los extremos azul y rojo del espectro es muy baja. Esto quiere decir que se necesitan unas 9 unidades de energía roja de una longitud de onda de 650 nm para producir el mismo efecto visual que una unidad de amarillo verdoso. Es obvio que la curva de sensibilidad se debe tener siempre en cuenta al evaluar la energía visual en función de la sensación.

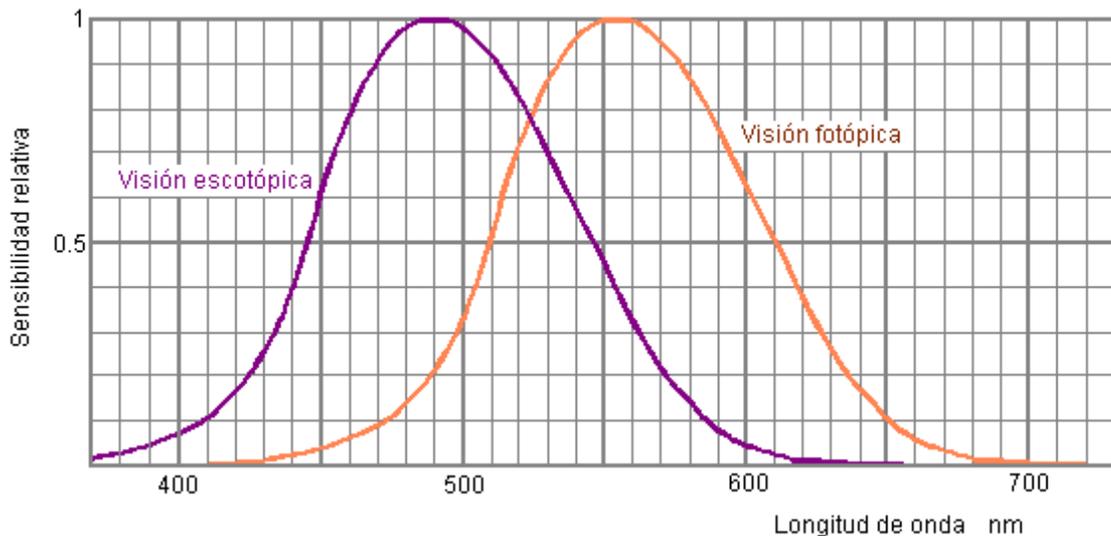


Figura 1.10 Curva de sensibilidad del ojo a las radiaciones monocromáticas.
(<http://www.astropractica.org/tem2/ajucrom/lrgb.htm>)

En la aplicación práctica de la iluminación, los espectros de colores fuertes no se emplean nunca, y los experimentos no indican apreciable ventaja, para cometidos visuales normales, en el uso de lámparas de vapor de sodio o mercurio ni de otra fuente de luz coloreada. Sin embargo, los efectos psicológicos del color pueden ser más pronunciados en unas personas que en otras, y los

proyectistas deben considerar las preferencias personales cuando seleccionen las fuentes de luz, aun cuando no puedan esperarse grandes resultados en la capacidad visual.

Efecto Purkinje.

La curva normal de sensibilidad del ojo (figura 1.9) está basada en la “visión de conos”, esto es, en los niveles ordinarios durante el día, en los que la sensación de la visión incumbe principalmente a los conos. En niveles de iluminación muy bajos, los conos no pueden operar y los bastones se encargan de todo el proceso visual. La visión mediante los bastones, denominada, visión escotópica, se verifica de acuerdo con una nueva curva de la misma forma que la fotópica, pero desplazada 48 nm hacia el extremo azul del espectro. A esta traslación se le conoce como efecto Purkinje, desplaza la sensibilidad máxima del ojo de los 555 a los 107 nm.

El resultado es que en la oscuridad, a pesar de que la visión carece por completo de color, el ojo se vuelve relativamente muy sensible a la energía del extremo azul del espectro y casi ciego a la del rojo. Si un rayo de luz roja y un rayo de luz azul, de intensidades iguales a niveles en que el trabajo visual está a cargo de los conos, se reducen en la misma proporción hasta niveles en que el trabajo visual corresponde a los bastones, la luz azul aparecerá mucho más brillante que la roja. Las implicaciones del efecto Purkinje son importantes en las instalaciones de alumbrado que presentan niveles muy bajos de iluminación, y el hecho de no tenerlo en cuenta puede conducir a serios errores en la medida de los valores del brillo e iluminación.

El campo visual

El campo visual normal se extiende aproximadamente 180° en el plano horizontal y 130° en el plano vertical, 60° por encima del horizontal y 70° por debajo, La fóvea, donde tiene lugar la mayor parte de la visión y todas las discriminaciones de detalles finos, subtiende un ángulo de menos de un grado a partir del centro.

Los alrededores se suelen considerar como la extensión que va desde el límite externo del campo central hasta un círculo de aproximadamente 30° desde el eje óptico. A 30° la agudeza visual es sólo alrededor de un uno por ciento de su valor en la fóvea. La visión es muy poco precisa en las zonas externas del campo, más allá de este ángulo, aunque pueden detectarse de manera rápida cambios en el brillo o movimientos.

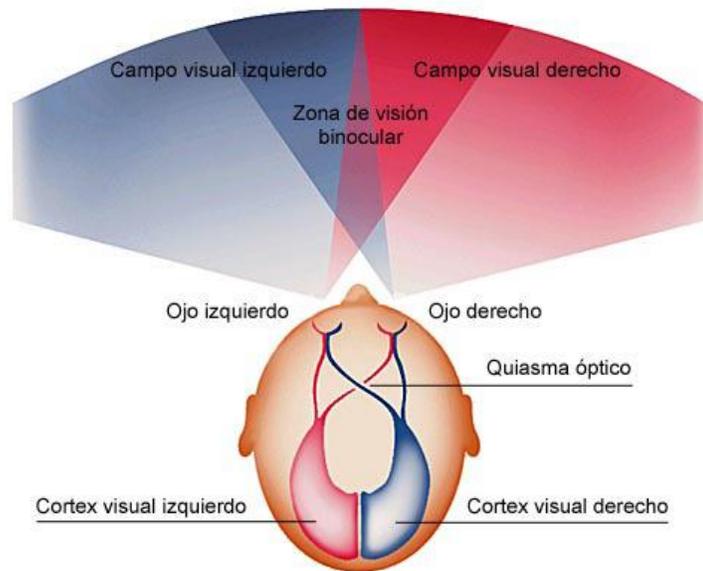


Figura 11 Campo visual. (histoptica.com)

Defectos estructurales del ojo.

Las cuatro causas más comunes de visión defectuosa son:

Astigmatismo (incapacidad de enfocar líneas horizontales y verticales al mismo tiempo): La distancia focal del ojo astigmático es diferente para dos planos perpendiculares. Esta condición resulta de irregularidades en la curvatura de la córnea y del cristalino.

Miopía: La distancia focal del ojo miope es demasiado corta, por lo que los rayos paralelos convergen delante de la retina y no en ella. Las personas miopes ven los objetos cercanos claramente, pero los distantes aparecen borrosos.

Hipermetropía: En este caso, la distancia focal del ojo es demasiado grande y el foco está detrás de la retina. Las personas que sufren de esta enfermedad no ven con claridad los objetos cercanos.

Presbicia (Pérdida del poder de acomodación del cristalino): En personas de edad media o avanzada, el cristalino se vuelve progresivamente menos elástico y el proceso de acomodación para una visión cercana se va haciendo más difícil.

Parpadeo.

El ojo no responde instantáneamente a un estímulo de luz, ni disminuye la sensación de la visión inmediatamente de retirado el estímulo. Cuando el ojo se expone a una fuente de intensidad que varía rápidamente, esta persistencia de la visión puede hacer que no se note el parpadeo, como

ocurre en la observación de una película. En todas las fuentes de luz que trabajan con corrientes alternas se da algún grado de variación cíclica en la luz emitida. Generalmente es tan rápida y suave, que la persistencia normal de la visión impide cualquier sensación de parpadeo. En lámparas incandescentes esto raramente se nota, excepto cuando se trabaja a una frecuencia de servicio de 25 ciclos.

Las lámparas de vapor de mercurio y las fluorescentes que trabajan a una frecuencia de 50 ciclos pueden, si no están apropiadamente corregidas, producir un parpadeo que hace que el observador vea imágenes múltiples de cualquier objeto en movimiento.

Deslumbramiento

El deslumbramiento es un fenómeno de la visión que produce molestia o disminución en la capacidad de diferenciar objetos, o ambas cosas a la vez, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. Este fenómeno actúa sobre la retina del ojo en la que se produce una reacción fotoquímica, insensibilizándola durante un tiempo, transcurrido el cual vuelve a recuperarse.

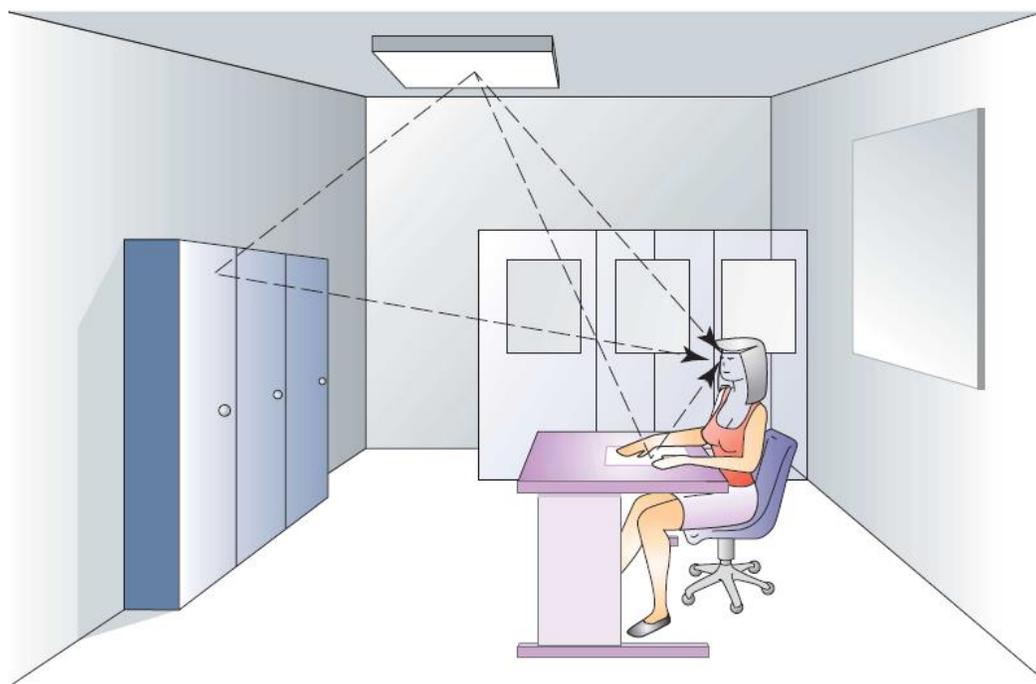


Figura 1.12 Superficies que reflejan la luz. (INDALUX, 2002)

Los efectos que originan el deslumbramiento pueden ser de tipo psicológico (molestia) o de tipo fisiológico (perturbación). En cuanto a la forma de producirse, puede ser directo como el que

proviene de fuentes luminosas (lámparas o ventanas) que están dentro del campo visual, o reflejado por superficies de gran reflectancia.

Las superficies que no sean completamente mates dan lugar, por reflexión de la luz, a imágenes más o menos limpias de los focos luminosos. Incluso si la luminancia no es excesiva, estas imágenes son casi siempre molestas cuando se encuentran en el campo visual y, especialmente, en la región central de este campo.

PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA MATERIA

Cuando un rayo de luz se propaga por un medio y alcanza el límite que lo separa de un segundo medio, puede suceder, que retorne al primero (reflexión), o que lo atraviese y que ingrese al segundo medio donde parte se convertirá en otra forma de energía (absorción) y parte no cambiará (transmisión).

Dos, o los tres de dichos fenómenos ocurren simultáneamente, y como la energía no se puede destruir, la suma de la energía transmitida, absorbida y reflejada debe ser igual a la energía incidente.

Por lo tanto, la aplicación de la luz en la forma más conveniente exige un control y una distribución que se consigue modificando sus características a merced a los fenómenos físicos de reflexión, absorción y transmisión de la luz, sin olvidarnos de otro cuarto factor conocido como refracción.

Reflexión

Cuando unas ondas de cualquier tipo inciden sobre una barrera plana como un espejo, se generan nuevas ondas que se mueven alejándose de la barrera. Este fenómeno se denomina reflexión.

Cuando la luz es reflejada por una superficie, un porcentaje de dicha luz se pierde debido al fenómeno de absorción. La relación entre la luz reflejada y la luz incidente se denomina reflectancia de la superficie.

Cualquier superficie que no es completamente negra puede reflejar luz. La cantidad de luz que refleja y la forma en que dicha luz es reflejada se determina por las propiedades de reflexión de la superficie. Se distinguen cuatro tipos de reflexiones, a saber: reflexión especular, reflexión

compuesta, reflexión difusa y reflexión mixta. En estas propiedades de reflexión se fundamentan los sistemas reflectores.

Reflexión especular (Fig. 13): Se produce cuando la superficie reflectora es lisa. Dicha reflexión obedece a dos leyes fundamentales:

1. El rayo incidente, el rayo reflejado y el normal a la superficie en un punto de incidencia se trazan en un mismo plano.
2. El ángulo de incidencia (i) es igual al ángulo de reflexión (r).

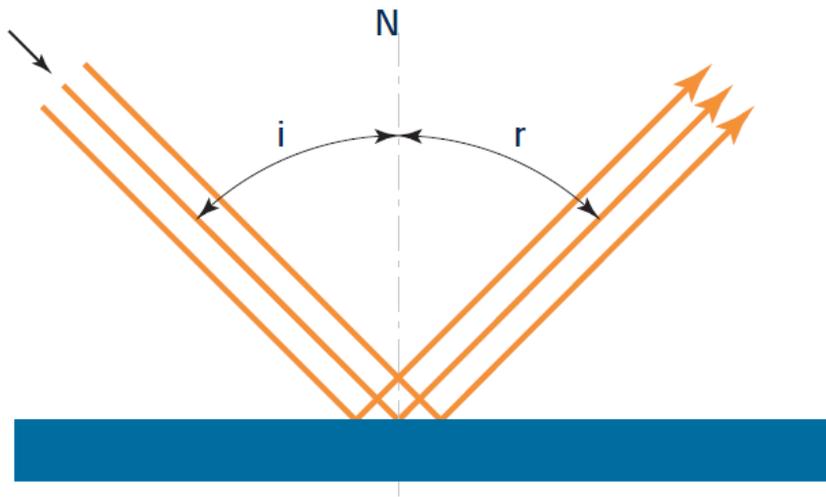


Figura 1.13 Reflexión especular.

EL COLOR

El color en sí no existe, no es una característica del objeto, es más bien una apreciación subjetiva nuestra. Por tanto, podemos definirlo una interpretación subjetiva psicofisiológica del espectro electromagnético visible.

El color, por tanto, no sólo es sensación, sino que básica y principalmente es emoción. Sus atributos como significantes son apreciados no solamente por los artistas, sino también por publicistas, diseñadores, decoradores, científicos, educadores, políticos y agentes sociales y laborales, etc.

Lo que ocurre cuando percibimos un objeto de un determinado color, es que la superficie de ese objeto refleja una parte del espectro de luz blanca que recibe y absorbe las demás. La luz blanca

está formada por tres colores básicos: rojo intenso, verde y azul violeta. Por ejemplo, en el caso de objeto de color rojo, éste absorbe el verde y el azul, y refleja el resto de la luz que es interpretado por nuestra retina como color rojo. Este fenómeno fue descubierto en 1666 por Isaac Newton, que observó que cuando un haz de luz blanca traspasaba un prisma de cristal, dicho haz se dividía en un espectro de colores idéntico al del arco iris: rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil y violeta.

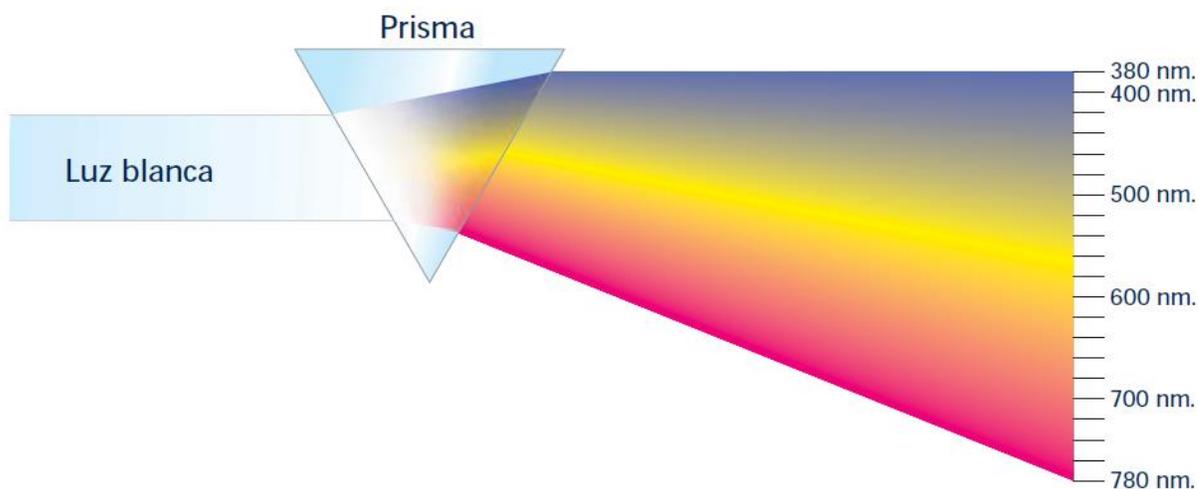


Figura 1.14 Descomposición de la luz blanca en el espectro del arco iris. (INDALUX, 2002)

El color de la luz está determinado por la longitud de onda, la energía visible con la longitud de onda más corta (380 a 450 nm) produce la sensación de violeta, aquellas con la longitud de onda más larga (630 a 770 nm) producen la sensación de rojo, en medio se encuentra el azul (450 a 490 nm), el verde (490 a 560 nm), el amarillo (560 a 590 nm) y el naranja (590 a 630 nm).

Color	Longitud de onda	Frecuencia
Rojo	~ 625-740 nm	~ 480-405 THz
Naranja	~ 590-625 nm	~ 510-480 THz
Amarillo	~ 565-590 nm	~ 530-510 THz
Verde	~ 520-565 nm	~ 580-530 THz
Azul	~ 450-500 nm	~ 670-600 THz
Añil	~ 430-450 nm	~ 700-670 THz
violeta	~ 380-430 nm	~ 790-700 THz

Tabla 1 Longitud de onda y frecuencia del espectro visible.

DEFINICIONES Y CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN

Algunas de las definiciones y conceptos básicos de la iluminación se dan a conocer a continuación.

Flujo luminoso.

El flujo luminoso es la radiación electromagnética que estimula el sentido de la vista, también se puede definir como la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa.

Símbolo: Φ

Unidad de medida: Lumen (Lm)

Intensidad luminosa.

Es el flujo luminoso que pasa a través de la unidad de ángulo sólido.

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

Símbolo: I

Unidad de medición: Candela (cd)

Matemáticamente

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

Donde:

Ω – ángulo sólido (estereorradianes)

Φ – Flujo luminoso (lm)

I – Intensidad luminosa

El radián se define como el ángulo plano que corresponde a un arco de circunferencia de longitud igual al radio (Fig. 1).

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

El estereorradián se define como el ángulo sólido que corresponde a un casquete esférico cuya superficie es igual al cuadrado del radio de la esfera (Figura 1.16).

$$\Omega \text{ (total)} = 4 \pi \text{ radianes}$$

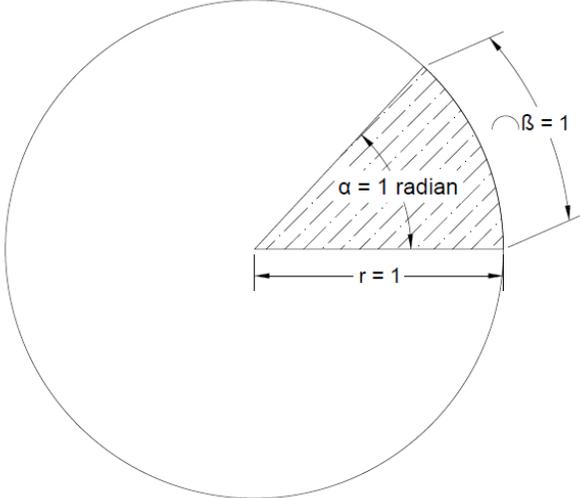


Figura 1.15 Ángulo plano

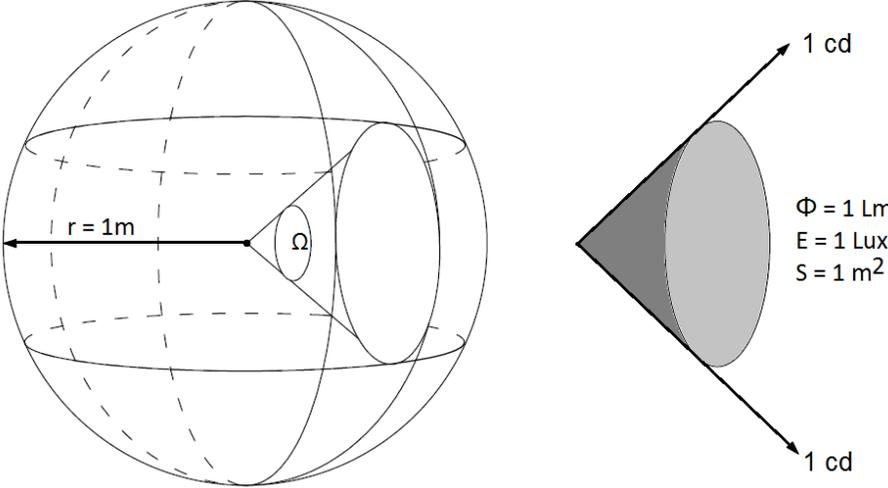


Figura 1.16 Ángulo sólido

Iluminación.

La iluminación se puede definir como el flujo luminoso que incide sobre una superficie.

Símbolo: E

Unidad de medida: Lux (Lx) para el sistema internacional de unidades y footcandle (Fc) para el sistema inglés.

Matemáticamente

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Donde:

s = superficie (m^2)

E = iluminacion (Lx^2)

La medición del nivel de iluminación se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una célula fotoeléctrica que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente.

Luminancia o brillantes.

Es la intensidad luminosa emitida en una dirección determinada por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz).

La luminancia mide brillo de las fuentes luminosas primarias y de las fuentes que constituyen los objetos iluminados.

Símbolo: L

Unidad de medida: candela/metro cuadrado llamada “nit (nt)”, con un submúltiplo, la candela/centímetro cuadrado o “stilb”.

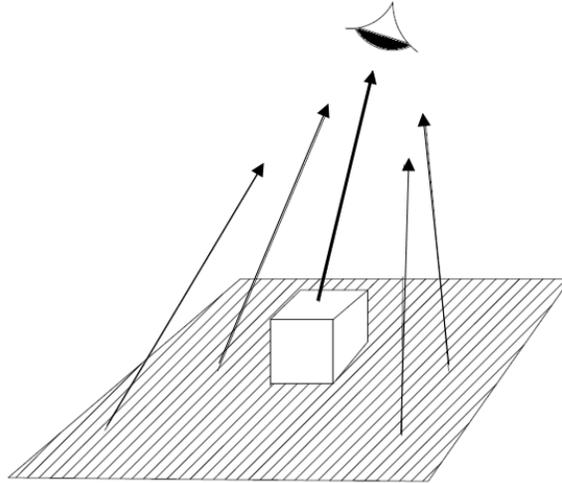


Figura 1.17 Luminancia de una superficie.

Eficiencia luminosa

Se define como eficiencia de una fuente luminosa a la relación entre el flujo (Φ) expresado en Lumen, emitido por una fuente luminosa y la potencia absorbida por una lámpara. Se expresa en Lumen/watt.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\Phi}{P}$$

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

La ley de la inversa del cuadrado, ley cuadrática inversa o ley del cuadrado inverso de la distancia, se refiere a algunos fenómenos físicos cuya intensidad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al centro donde se originan. En particular, se refiere a fenómenos ondulatorios (sonido y luz).

La luz es un fenómeno ondulatorio, considerada una fuente puntual que emite luz de manera uniforme en todas las direcciones.

La ley de la inversa del cuadrado nos dice que la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente de luz y la superficie iluminada.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

Donde:

- E es el nivel de iluminación en lux [lx]
- I es la intensidad de la fuente en candelas [cd]
- d es la distancia de la fuente de luz al plano receptor perpendicular en metros [m]

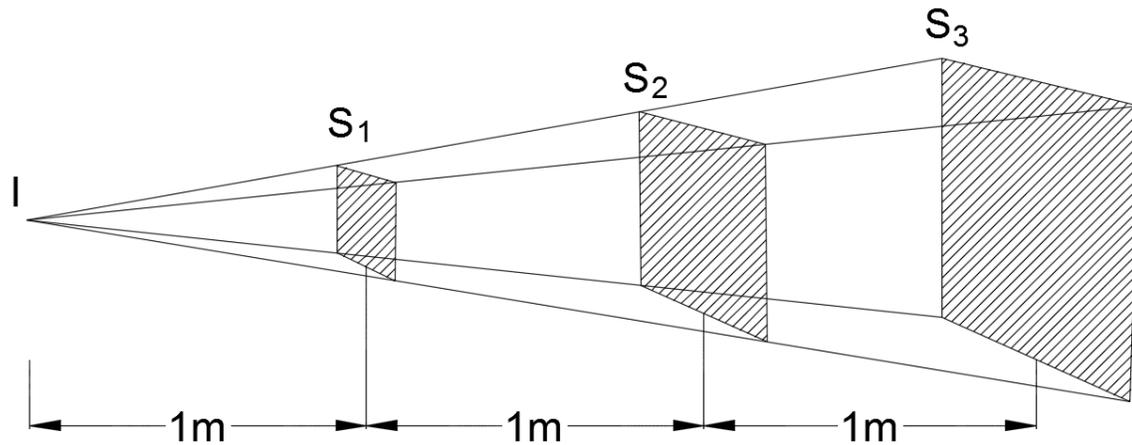


Figura 1.18 Distribución del flujo luminoso sobre distintas superficies.

Entonces

$$E_{s1} = \frac{I}{1^2}; E = I$$

$$E_{s2} = \frac{I}{2^2}; E = \frac{I}{4}$$

$$E_{s3} = \frac{I}{3^2}; E = \frac{I}{9}$$

Ley del coseno

Cuando la dirección de la luz forma un determinado ángulo con la superficie sobre la que incide, la iluminancia se calcula, aplicando la ley de la inversa del cuadrado de la distancia, pero multiplicando por el coseno del ángulo correspondiente.

$$E = \frac{I}{d^2} \cos \alpha$$

Donde:

E = Nivel de iluminación en lux (lx)

I = La intensidad de la fuente en candelas (cd)

d = La distancia de la fuente de luz al plano receptor perpendicular en metros (m)

α = Angulo de incidencia

F = Fuente de luz

h = altura de la luminaria

p = Punto a iluminar

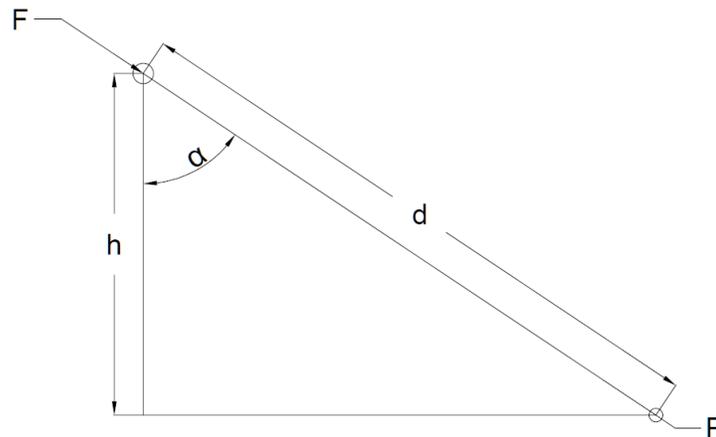


Figura 1.19

En la práctica, generalmente no se conoce la distancia d del foco al punto considerado, sino su altura h a la horizontal del punto.

Empleando una sencilla relación trigonométrica y sustituyendo ésta en la ecuación inicial, obtenemos una nueva relación en la cual interviene la altura h :

$$\cos \alpha = \frac{h}{d} \rightarrow d = \frac{h}{\cos \alpha}$$
$$E_p = \frac{I}{d^2} \cos \alpha = \frac{I}{\left(\frac{h}{\cos \alpha}\right)^2} \cos \alpha = \frac{I}{h^2} \cos^2 \alpha \cos \alpha$$
$$E_p = \frac{I}{h^2} \cos^3 \alpha \text{ (lx)}$$

Iluminación normal, horizontal, vertical y en planos inclinados

En la Figura 1.20 la fuente F ilumina tres planos situados en posiciones normal, horizontal y vertical respecto al mismo. Cada uno de ellos tendrá una iluminación llamada:

E_N = Iluminación normal.

E_H = Iluminación horizontal.

E_V = Iluminación vertical.

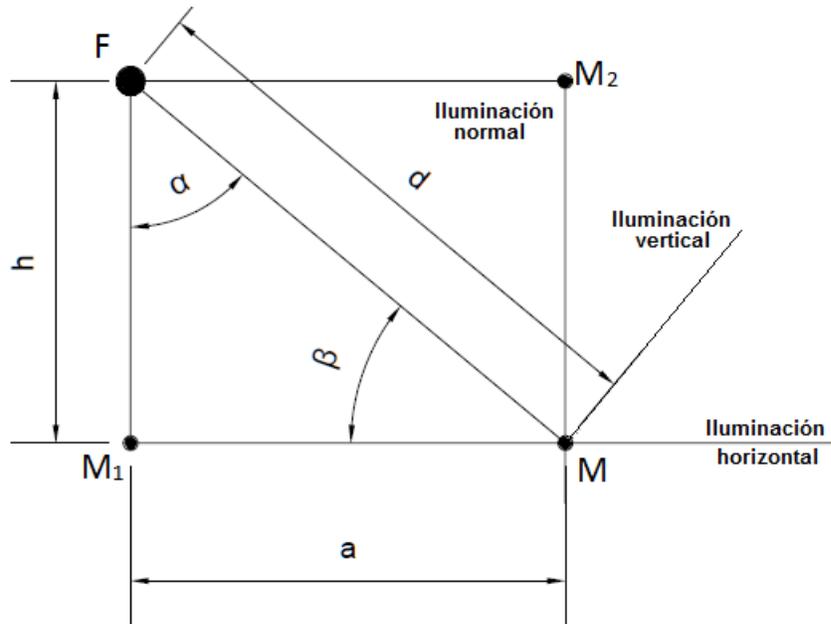


Figura 1.20 Iluminación normal, horizontal y vertical.

Iluminación normal

Aplicamos la ley de la inversa del cuadrado de la distancia:

$$E_N = \frac{I_\alpha}{d^2}$$

Donde I_α es la intensidad luminosa bajo el ángulo α . Prácticamente, sólo se considera la iluminancia normal de un punto en el caso que éste se encuentre situado en la vertical de la fuente sobre el plano horizontal (punto M_1), por lo que la fórmula anterior se convierte en:

$$E_N = \frac{I_\alpha}{h^2}$$

También cuando está situado en línea recta con la fuente sobre el plano vertical (punto M_2), siendo la iluminación:

$$E_N = \frac{I_\alpha}{a^2}$$

Iluminación horizontal

Si aplicamos directamente la ley del coseno, tenemos que:

$$E_H = E_N \cos \alpha = \frac{I_\alpha}{d^2} \cos \alpha$$

Esta expresión la podemos expresar en relación con la altura h que existe entre la fuente F y el punto M ($d = h / \cos \alpha$):

$$E_H = \frac{I_\alpha}{h^2} \cos^3 \alpha$$

Iluminación vertical

En este caso también se aplica directamente la ley del coseno, y obtenemos que:

$$E_V = E_N \cos \beta$$

Entre los ángulos α y β existe una relación sencilla, ya que ambos pertenecen a un triángulo rectángulo.

$$\alpha + \beta + 90^\circ = 180^\circ \rightarrow \beta = 90^\circ - \alpha$$

Aplicando relaciones trigonométricas:

$$\cos \beta = \cos(90^\circ - \alpha) = \cos 90^\circ \cos \alpha + \sin 90^\circ \sin \alpha$$

Por lo tanto $\cos \beta = \sin \alpha$. Sustituimos este valor en la expresión y obtenemos que:

$$E_V = E_N \sin \alpha$$

$$E_V = \frac{I_\alpha}{d^2} \sin \alpha$$

Podemos expresar la ecuación en función de la altura h que existe entre la fuente F y el punto M .

$$E_V = \frac{I_\alpha}{h^2} \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$$

Iluminación en planos inclinados

El plano vertical puede cambiar a través de un ángulo γ como el que aparece en la Figura 1.21. Dicho ángulo γ es el que forma el plano vertical que contiene al punto P con el plano de incidencia de la luz.

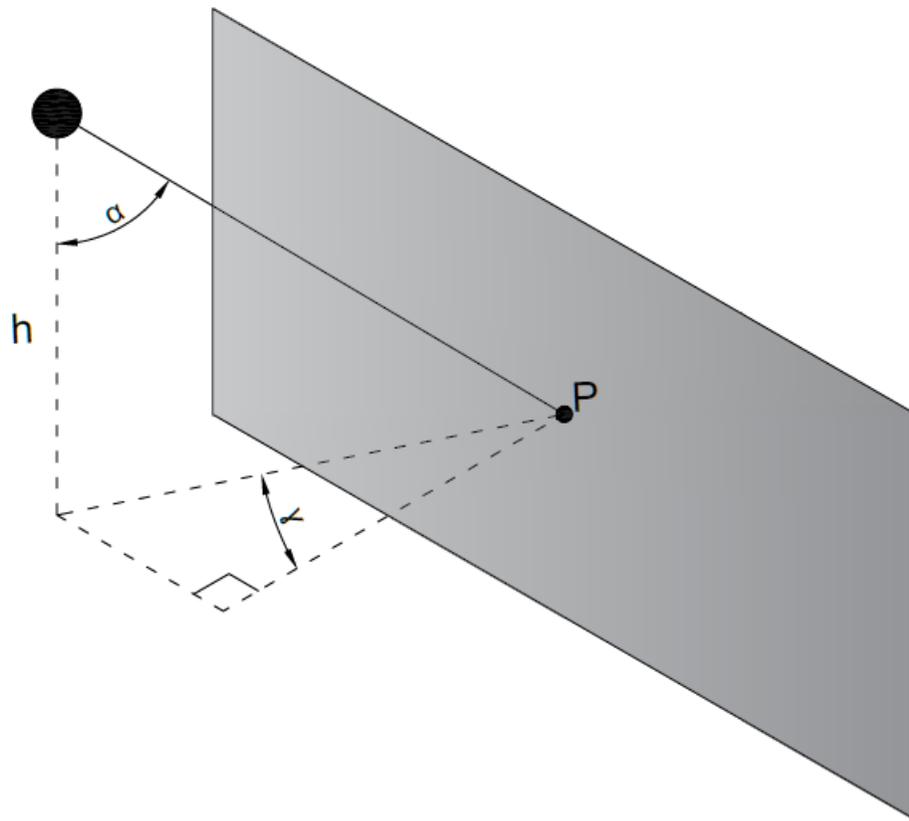


Figura 1.21 Iluminancia en el punto P.

Teniendo esto en cuenta la ecuación de la iluminación vertical $E_V = \frac{I_\alpha}{h^2} \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha$ se transforma en:

$$E_V = \frac{I_\alpha}{h^2} \sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos \gamma$$

Ley de Lambert

Existen superficies emisoras o difusas que al observarlas desde distintos ángulos se tiene la misma sensación de claridad. A estas superficies se las denomina emisores o difusores perfectos.

Si L_0 es la luminancia según la normal y L_α la luminancia según el ángulo de observación α , se verifica que $L_\alpha = L_0 \cos \alpha$ para cualquier ángulo α .

Como $L_0 = I \frac{I_0}{S}$ y $L_\alpha = I \frac{I_\alpha}{S \cos \alpha}$, se cumple la ecuación:

$$I_\alpha = I_0 \cos \alpha$$

Esta relación se conoce como Ley de Lambert y sólo la cumple en los emisores o difusores perfectos.

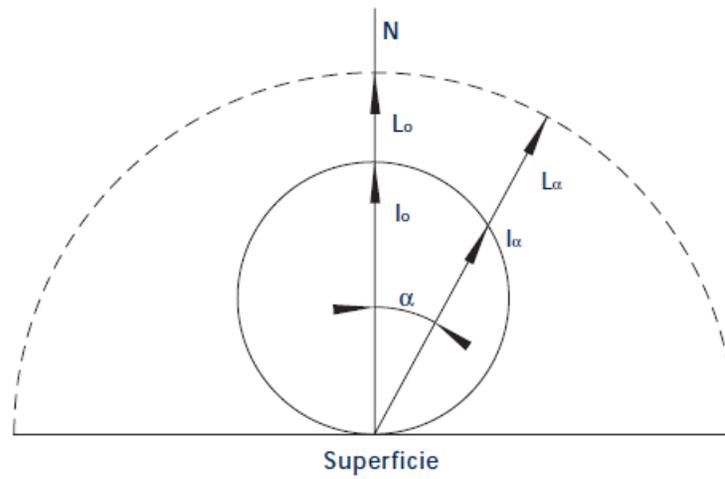


Figura 1.22 Invariabilidad de la luminancia con el ángulo de incidencia.

CAPITULO II LUMINARIAS Y LÁMPARAS

LUMINARIAS

Las fuentes luminosas, están casi siempre asociadas a los aparatos de iluminación que son de distintas formas y materiales. Salvo en casos particulares de lámparas echas en formas especiales, las fuentes luminosas se ponen en operación dentro de los aparatos de iluminación.

Estos aparatos de iluminación se les conoce como luminarias y su función es dirigir, filtrar o transformar, la luz emitida por las lámparas, contienen todos los elementos para fijar y proteger mecánicamente las lámparas y para recibir al circuito de alimentación.

Las luminarias están formadas por los siguientes elementos:

1. Armadura o carcasa: Es el elemento físico mínimo que sirve de soporte y delimita el volumen de la luminaria conteniendo todos sus elementos. Por este concepto pueden distinguirse varios tipos:

- Para interiores o exteriores.
- De superficie o empotradas.
- Suspendidas o de carril.
- De pared, para brazo o sobre columna.
- Abierta, cerrada o estanca.
- Para ambientes normales o de riesgo (de corrosión o explosión).

2. Equipo eléctrico: Sería el adecuado a los distintos tipos de fuentes de luz artificial y en función de la siguiente clasificación:

- Incandescentes normales sin elementos auxiliares.
- Halógenas de alto voltaje a la tensión normal de la red, o de bajo voltaje con transformador o fuente electrónica.
- Fluorescentes. Con reactancias o balastos, condensadores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.
- De descarga. Con reactancias o balastos, condensadores, o conjuntos electrónicos de encendido y control.

3. Reflectores: Son determinadas superficies en el interior de la luminaria que modelan la forma y dirección del flujo de la lámpara. En función de cómo se emita la radiación luminosa pueden ser:

- Simétrico (con uno o dos ejes) o asimétrico.

- Concentrador (haz estrecho menor de 20°) o difusor (haz ancho entre 20 y 40°; haz muy ancho mayor de 40°).

- Especular (con escasa dispersión luminosa) o no especular (con dispersión de flujo).

- Frío (con reflector dicróico) o normal.

4. Difusores: Elemento de cierre o recubrimiento de la luminaria en la dirección de la radiación luminosa. Los tipos más usuales son:

- Opal liso (blanca) o prismática (metacrilato traslúcido).

- Lamas o reticular (con influencia directa sobre el ángulo de apantallamiento).

- Especular o no especular (con propiedades similares a los reflectores).

5. Filtros: En posible combinación con los difusores sirven para potenciar o mitigar determinadas características de la radiación luminosa.

Difusores y Reflectores

Para atenuar los efectos deslumbrantes de las fuentes luminosas, se usan los llamados difusores que pueden ser de vidrio opalino o esmerilado, o bien plástico. El rendimiento de estos aparatos varía entre el 50 y el 80%.

Los aparatos que sirven para modificar la dirección de la luz, son denominados reflectores. Entre sus funciones se encuentran las de encargados de hacer difusa la luz de la lámpara, distribuir la luz uniformemente en todas las direcciones o enfocar la luz en una dirección definida. Además sirven para proteger las lámparas, evitar los deslumbramientos o darle color a la luz emitida por la luminaria.

El elemento más importante que se utiliza para el control del haz de luz es el reflector que también es responsable del rendimiento y duración de la lámpara.

El material más utilizado para la fabricación de reflectores es la chapa de aluminio. Se obtienen por embutición o repulsado, pero es necesario un acabado final a base de anodizado y sellado. La chapa de hierro junto con un tratamiento para evitar la oxidación también se utiliza para fabricar reflectores. Cuando la temperatura que alcanza la lámpara no es excesivamente elevada, se pueden utilizar reflectores plásticos, como por ejemplo es el caso de los reflectores de los automóviles.

Tipos de reflectores:

Los tres principales tipos de reflexión que se utilizan para el diseño de los reflectores son: la reflexión especular, reflexión dispersa y reflexión difusa dependiendo de los requerimientos de la instalación. Para conseguirlo existen distintos tipos de reflectores:

- Reflectores especulares

Los reflectores especulares se utilizan para distribución de la luz precisa. Por ejemplo en los proyectores y luminarias para carreteras. El material más utilizado para conseguir el acabado especular es la chapa de aluminio, con un grosor mínimo para garantizar la estabilidad y eficacia del reflector. Si se desea un acabado más especular se puede pulir el aluminio o incluso revestir la superficie con un aluminio de pureza máxima. Para evitar la oxidación el acabado se protege con una película dura de óxido no corrosivo que se aplica durante el anodizado.

La lámpara y la forma de la superficie del reflector determinan el modo en el que se distribuye la luz a través del haz reflectado. Las formas geométricas que presenta un reflector son: circular, parabólico, esférico o elíptico.

El reflector circular distribuye el haz de luz como muestra la figura 2.1 cuando la fuente de luz está situada hacia el interior de la circunferencia.

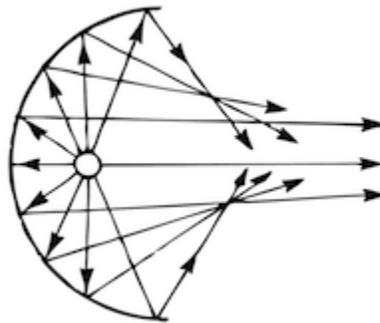


Figura 2. 1 Reflector Circular (Fuente: PHILIPS)

Pero cuando la fuente de luz puntual se sitúa en el centro de curvatura solo se emite la luz que sale directamente de la lámpara porque los rayos que inciden sobre el reflector son redirigidos a la lámpara. En este caso el rendimiento de la luminaria es muy bajo y eleva la tensión del arco.

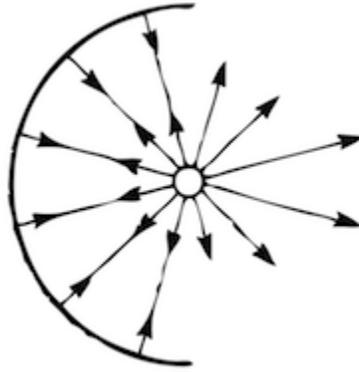


Figura 2. 2 Reflector Circular (Fuente: PHILIPS)

El reflector parabólico es la forma más utilizada. Cuando la fuente de luz está situada en el foco se produce un haz reflejado paralelo. Cuando la fuente de luz se sitúe fuera del centro del foco, los rayos se reflejaran como muestra la figura 2.3

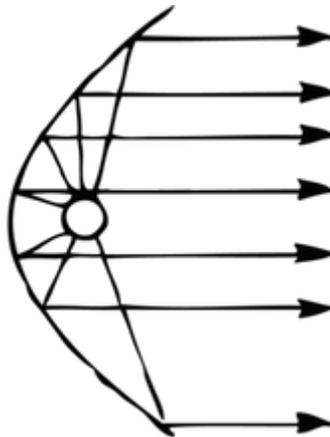


Figura 2. 3 Reflector Parabólico (Fuente: PHILIPS)

El reflector elíptico tiene la propiedad de que si se sitúa una fuente de luz en el centro de foco, todos los rayos reflejados están dirigidos hacia el foco conjugado.

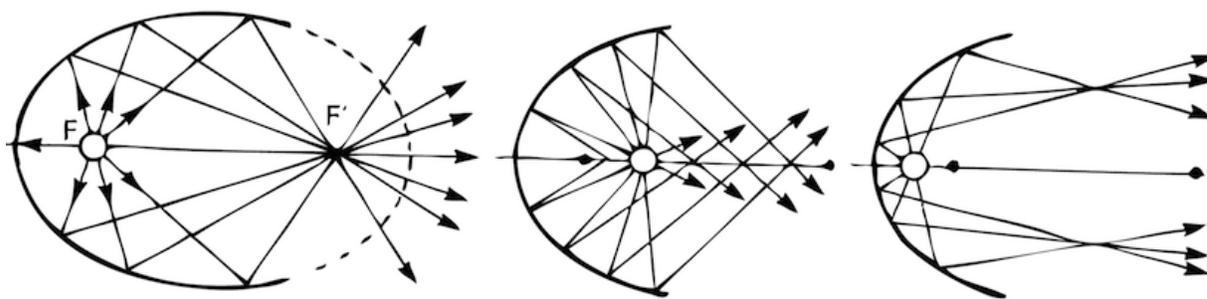


Figura 2. 4 Reflector Elíptico (Fuente: PHILIPS)

Reflectores dispersos

Los reflectores dispersos se utilizan en casos donde no se requiere un elevado grado de control sobre la distribución de la luz. La importancia de estos reflectores está en la distribución uniforme y bien definida del haz. El acabado de la superficie en este tipo de reflectores es anodizado

Reflectores difusos

Los reflectores difusos son ideales para conseguir una distribución de luz no enfocada o cuando el haz de luz que se necesita es mayor de 90°. El acabado difuso de las superficies se consigue utilizando metales con acabado mate o pinturas opacas.

Los reflectores difusos se utilizan en iluminación de interiores para proporcionar niveles de iluminancia uniformes.

Clasificación de las luminarias

Existen cuatro modos de clasificación de las luminarias según el tipo de protección contra los choques eléctricos, grado de protección contra el polvo y la humedad, grado de protección contra impactos y del material de la superficie sobre la que se coloque la luminaria, estas clasificaciones están dadas por las normas internacionales (IEC 60529:1989/A2:2013)

Clasificación en función del tipo de protección contra los choques eléctricos

Las luminarias se clasifican en función de su tipo de protección contra los choques eléctricos, en Clase 0, Clase I, Clase II y Clase III.

Luminaria de Clase 0: Luminarias en las que la protección contra choques eléctricos recae exclusivamente sobre el aislamiento principal; descansando la protección, en caso de fallos del aislamiento principal, sobre el medio circundante.

Luminaria de Clase I: Luminaria en la que la protección contra los choques eléctricos no recae exclusivamente sobre el aislamiento principal, sino que comprende una medida de seguridad suplementaria bajo la forma de medios de conexión de las partes conductoras accesibles con un conductor de protección puesto a tierra, formando parte del cableado fijo de la instalación, de tal manera que las partes conductoras accesibles no puedan llegar a ser peligrosas, en caso de defecto del aislamiento principal.

Luminaria de Clase II: Luminaria en la que la protección contra los choques eléctricos no recae únicamente sobre el aislamiento principal, sino que comprende medidas de seguridad suplementarias, tales como el doble aislamiento o el aislamiento reforzado. Estas medidas no comprenden medios de puesta a tierra como protección y no dependen de las condiciones de instalación.

Luminaria de Clase III: Luminaria en la que la protección contra los choques eléctricos recae en la alimentación con pequeña tensión de seguridad y en la que no se generan tensiones superiores a la pequeña tensión de seguridad.

Clasificación en función del grado de protección contra el polvo y la humedad

El tipo de protección contemplado por este sistema de clasificación es el siguiente:

a) Protección de las personas contra los contactos o la proximidad de las partes en tensión y contra los contactos con piezas en movimiento interiores a la envolvente y protección de los aparatos o equipos contra la penetración de cuerpos sólidos extraños.

b) Protección de los aparatos o equipo bajo envolvente contra los efectos perjudiciales debidos a la penetración de agua.

La designación para indicar los grados de protección está constituida por las letras características IP seguidas de dos cifras (las cifras características) que significan que los aparatos o equipos están conformes con las condiciones descritas en las tablas expuestas a continuación. La primera cifra indica el grado de protección descrito en el punto a) y la segunda cifra el grado de protección descrito en el punto b).

a) Grados de protección indicados por la 1ª cifra característica

1ª cifra característica	Grados de protección	
	Descripción abreviada	Indicaciones sobre el tipo de protección proporcionado por la envolvente
0	No protegido.	Sin protección particular.
1	Protegidos contra los cuerpos sólidos cuya dimensión mayor sea superior a 50 mm.	Protección a la entrada de una gran superficie del cuerpo humano, por ejemplo la mano (pero sin protección contra una penetración deliberada) Cuerpos solidos de más de 50 mm de diámetro.
2	Protegidos contra los cuerpos sólidos cuya dimensión mayor sea superior a 12 mm.	Protección para los dedos u objetos similares a 80 mm de longitud. Cuerpos sólidos de más de 12 mm de diámetro.
3	Protección contra los cuerpos sólidos cuya dimensión mayor sea superior a 2.5 mm	Protección a la entrada de objetos como herramientas, alambres, etc. De diámetro o espesor superior a 2.5mm. Cuerpos solidos con más de 2.5 mm de diámetro.
4	Protección contra los cuerpos sólidos cuya dimensión mayor sea superior a 1 mm	Protección a la entrada de alambres o cintas de espesor superior a 1 mm de diámetro. Cuerpos solidos con más de 1 mm de diámetro.
5 	Protegidos contra el polvo.	No se evita totalmente la penetración de polvo, pero el polvo no puede entrar en cantidad suficiente para dañar el buen funcionamiento del aparato o equipo.
6 	Totalmente protegidos contra el polvo.	Sin penetración alguna de polvo.

b) Grados de protección indicados por la 2ª cifra característica

2ª cifra característica	Grados de protección	
	Descripción abreviada	Indicaciones sobre el tipo de protección proporcionado por el envolvente
0	No protegido.	Sin protección particular.
1 	Protegido contra caídas verticales de gotas de agua.	Las gotas de agua que caen verticalmente no deberán causar efectos perjudiciales.
2	Protegido contra las caídas de agua para una inclinación máxima de goteo de agua.	Las caídas verticales de agua no deberán causar efectos perjudiciales cuando la envolvente está inclinada hasta 15° con respecto a su posición normal.
3 	Protegido contra el agua en forma de lluvia.	El agua que cae de la lluvia en una dirección que forma con la vertical un ángulo inferior o igual a 60°, no deberá causar efectos perjudiciales.
4 	Protegidos contra salpicaduras de agua.	El agua proyectada en todas las direcciones sobre la envolvente no deberá causar efectos perjudiciales.
5 	Protegidos contra chorros de agua.	El agua proyectada a presión en todas las direcciones sobre la envolvente no deberá causar efectos perjudiciales.
6	Protegidos contra el agua de mar disparada potentemente hacia la protección del equipo desde cualquier dirección.	Por mar gruesa o por el efecto de potentes surtidores, no deberá causar efectos perjudiciales.

<p style="text-align: center;">7</p> 	<p style="text-align: center;">Protegido contra los efectos de la inmersión.</p>	<p>No deberá ser posible la penetración de agua en cantidad perjudicial en el interior de la envolvente sumergida en el agua, a una presión y durante un periodo determinado.</p>
<p style="text-align: center;">8</p> 	<p style="text-align: center;">Protegido contra la inmersión prolongada.</p>	<p>El equipo o aparato adecuado para la inmersión prolongada en el agua en las condiciones especificadas por el fabricante.</p>

Clasificación en función del grado de protección contra impactos

La presente clasificación utiliza un sistema de codificación para indicar el grado de protección proporcionado por una envolvente contra los impactos mecánicos nocivos.

Se identifica mediante las siglas IK seguidas de una cifra de dos dígitos, representativa de la resistencia a una determinada energía de impacto que una envolvente puede soportar sin sufrir deformaciones peligrosas.

El significado de los valores numéricos asignados a las cifras se indica en la siguiente tabla.

El grado de protección que garantiza el código IK se aplica a la envolvente en su totalidad. Si alguna parte de la misma tiene grado de protección diferente, debe indicarse por separado.

IK	Energía de impacto en Joules
00	Ninguna protección
01	Resistente a una energía de choque de 0.15 J
02	Resistente a una energía de choque de 0.20 J
03	Resistente a una energía de choque de 0.35 J
04	Resistente a una energía de choque de 0.50 J
05	Resistente a una energía de choque de 0.70 J
06	Resistente a una energía de choque de 1 J
07	Resistente a una energía de choque de 2 J

08	Resistente a una energía de choque de 5 J
09	Resistente a una energía de choque de 10 J
10	Resistente a una energía de choque de 20 J

Tabla 2. 1 Grado de protección contra impactos

Clasificación en función del material de la superficie de apoyo para la que está prevista la luminaria

Materiales clasificados VO: Un material clasificado VO lo será cuando no haya ninguna muestra que arda con combustión de llama más de 10 segundos después de cada aplicación del test de la llama.

Materiales clasificados V2: Un material clasificado V2 lo será cuando no haya ninguna muestra que arda con combustión de llama más de 30 segundos después de cada aplicación del test de la llama.

Clasificación	Símbolo
Luminarias previstas para montaje directo solamente sobre las superficies incombustibles.	Ningún símbolo, pero es necesario nota de advertencia.
Luminarias sin balastos o transformador incorporado, previstas para el montaje directo sobre superficies normalmente inflamables.	Ningún símbolo.
Luminarias con balastos o transformador incorporado, previstas para montaje directo sobre superficies normalmente inflamables.	

Tabla 2. 2 Clasificación en función del material de la superficie de apoyo para la que está prevista la luminaria

Clasificación según las características ópticas de la luminaria

Otra manera de clasificar las luminarias es según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. Es decir, dependiendo de la cantidad de luz que ilumina hacia el techo o al suelo. Según esta clasificación se distinguen seis clases.

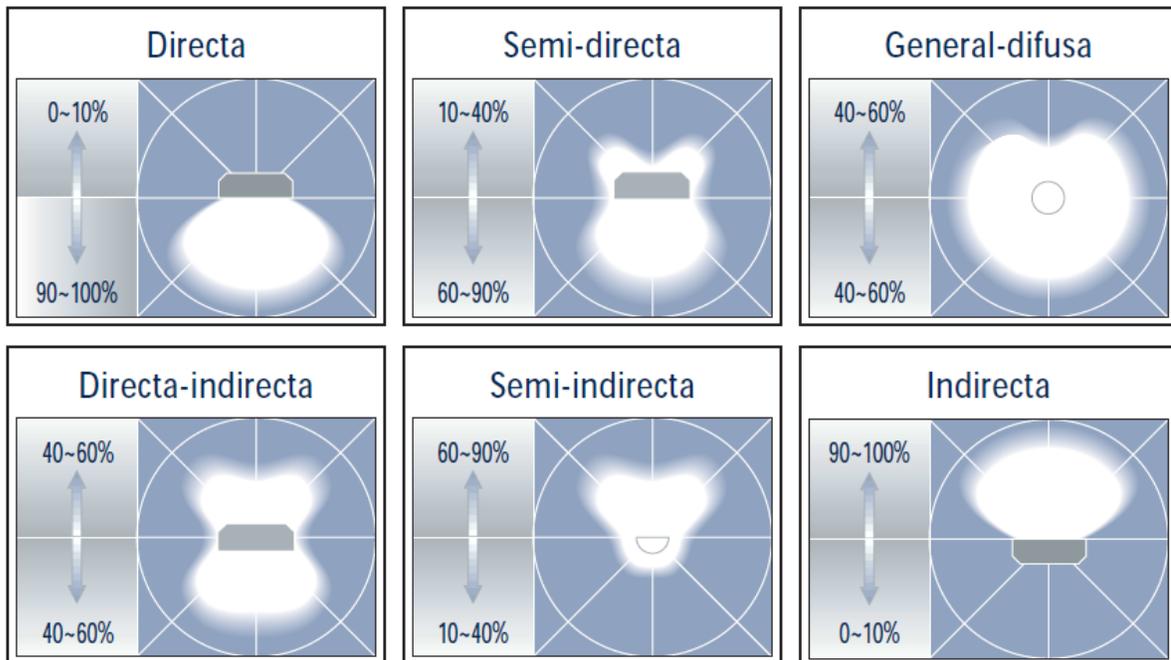


Figura 2. 5 Clasificación según las características ópticas de la luminaria (INDALUX)

Clase de luminaria	% distribución del flujo hacia arriba	% distribución del flujo hacia abajo
Directa	0 - 10	90 - 100
Semi-directa	10 - 40	60 - 90
Directa-indirecta	40 - 60	40 - 60
General difusa	40 - 60	40 - 60
Semi-indirecta	60 - 90	10 - 40
indirecta	90 - 100	0 - 10

Tabla 2. 3 porcentajes de distribución del flujo luminoso

A su vez, con respecto a la simetría del flujo emitido, se puede hacer una clasificación en dos grupos:

- 1) Luminarias de distribución simétrica: Aquellas en las que el flujo luminoso se reparte de forma simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades luminosas se puede representar en una sola curva fotométrica.
- 2) Luminarias de distribución asimétrica: Son aquellas en las que el flujo luminoso se distribuye de forma no simétrica respecto al eje de simetría y la distribución espacial de las intensidades

luminosas se expresa mediante un sólido fotométrico o, parcialmente, con una curva plana de dicho sólido según diversos planos característicos.

LÁMPARAS

La finalidad de las lámparas es la de producir luz, y la eficiencia con la que una lámpara realiza este trabajo se expresa en lúmenes emitidos por watts consumidos, relación llamada eficiencia luminosa. Si pudiera conseguirse una fuente luminosa que irradiase toda la energía recibida en forma de luz monocromática amarilla verdosa en la región de sensibilidad máxima del ojo, 550 nm (5,500 Angstroms), produciría 680 lúmenes por cada watt de potencia consumida. Una fuente teórica de luz blanca de eficacia máxima, emitiendo sólo energía visible sin ningún rayo infrarrojo ni ultravioleta, produciría unos 200 lúmenes por watt. Puesto que en la práctica todas las fuentes de luz producen considerables cantidades de infrarrojos y que inevitablemente se pierde algo de energía por conducción y convección, ninguna lámpara conocida se aproxima a la eficacia máxima teórica. De cualquier modo, analizando las materias primas empleadas en la manufactura de las lámparas se pueden ver los progresos obtenidos. Por ejemplo, la eficacia de una lámpara de filamento incandescente de 60 watts ha sido aumentada tres veces y media durante los últimos 45 años cambiando como material del filamento el carbón por tungsteno, el tipo de construcción en vacío por el de relleno de gas, y los filamentos rectos por los arrollados y luego por los filamentos en doble espiral.

EFICACIAS DE DIVERSAS FUENTES DE LUZ	
Lúmenes aproximados por watt	
Bujía (Eficacia luminosa equivalente)	0.1
Lámpara de aceite (Eficacia luminosa equivalente)	0.3
Lámpara incandescente original (1879)	1.4
Lámpara de filamento de carbono de 60 watts (1905)	4.0
Lámpara de filamento de tungsteno, doble espiral, 60 watts (1968)	14.7
Lámpara de vapor de sodio alta presión	95 - 130
Lámpara de vapor de sodio baja presión	120 - 200
Lámpara fluorescente de vapor de mercurio, de alta emisión, blanca, de 400 watts (1968)	60.0
Lámpara aditivos metálicos	70 - 108

Lámpara fluorescente blanca de alta emisión, 244 mm. (1968)	82.0
Lámparas LED	90 - 120

Tabla 2. 4 Eficacias de diversas fuentes de luz

No obstante, la lámpara de filamento incandescente tiene ciertas características inherentes que limitan su eficacia como fuente de luz y, si bien es probable que dicha eficacia se aumentara todavía más por mejoras introducidas en la fabricación, los máximos valores posibles han sido ya casi alcanzados. La lámpara de descarga eléctrica produce luz por un proceso enteramente diferente, y es capaz de lograr una eficacia mucho mayor. Las lámparas claras de mercurio tienen una eficacia de hasta 57 lúmenes por watt, y las de mercurio fluorescente hasta 62. Ciertos tipos actuales de lámparas fluorescentes sobrepasan los 70 lúmenes por watt, y algunas llegan por encima de los 80.

Un tercer método para producir luz en la electroluminiscencia, es el que aquélla se genera en un material sólido por aplicación directa de un campo eléctrico alterno. No se usa filamento, vapor gaseoso, o bombilla alguna, y la luz se produce en una película de un espesor de unas pocas milésimas de pulgada. Una fuente electroluminiscente típica consiste en una fina capa de fósforo situada entre dos placas conductoras, una de las cuales es transparente. La luminancia depende de la tensión y la frecuencia de servicio, así como también de la composición química del fósforo.

Lámparas incandescentes

Las lámparas incandescentes son la fuente de luz más antigua. El principio de funcionamiento de la lámpara incandescente se basa en un filamento de tungsteno de espiral simple o doble, se lleva hasta la incandescencia con el paso de la corriente eléctrica. Con el objeto de que se quemara el filamento, se encierra en una ampolla o bulbo de vidrio dentro del cual se hace el vacío o se introduce un gas inerte (argón, criptón, etc.). El vacío se realiza en lámparas de baja potencia y el gas inerte se utiliza en lámparas de media y alta potencia.

En el 2015 se prohibió la fabricación y venta de focos incandescentes de 60 y 40 watts en México, que se suma a la prohibición de focos de 100 y 75 watts establecida el 2012.

La eficiencia de las lámparas incandescentes es baja en comparación con los otros tipos de lámparas, y aumenta cuando aumenta la potencia de la lámpara.

Partes principales de una lámpara incandescente.

Las partes principales de una lámpara incandescente son: el bulbo, la base y el filamento.



Figura 2. 6 Lámpara incandescente (PHILIPS)

Bulbo o ampolla

Puesto que un filamento incandescente debe operar en el vacío o en una atmósfera de gas inerte para evitar la rápida desintegración debida a la oxidación, se le encierra en una envoltura precintada de cristal llamada ampolla o bulbo. Se utilizan varias clases de cristal, dependiendo del tipo de lámpara y sus aplicaciones. La mayor parte de las ampollas de las lámparas de alumbrado general están hechas de cristal blando. Se utilizan lámparas para servicios especiales con ampollas de cristales duros o resistentes al calor, en lugares donde la lluvia o la nieve puedan entrar en contacto con la ampolla caliente y provocar su ruptura, si fuese de cristal suave. El cristal duro es necesario también para proyectores, focos, etc., los cuales tienen de ordinario temperaturas de trabajo más altas que las lámparas de servicio general. Algunas lámparas de reciente desarrollo para aplicaciones especiales se construyen con bulbo de cuarzo.

Base o casquillo

El casquillo tiene por misión conectar la ampolla con el portalámparas. Para fines de alumbrado general, el tipo de casquillo más usado es el de rosca. La mayoría de las lámparas de alumbrado general (300 watts o menos) llevan casquillos de rosca media. Los de más altas potencias (por

encima de los 300 watts) tienen casquillos de rosca especiales. Algunas de las lámparas de menos potencia, particularmente las de señales, indicadores y decoración, están provistas de casquillos de rosca de candelabro o intermedia.

Filamento

En una lámpara, el filamento es el elemento productor de luz. La potencia de una lámpara de filamento es igual a la tensión de alimentación del portalámparas, en volts, multiplicada por la intensidad en amperes de la corriente que pasa por el filamento. Según la ley de Ohm ($I = E/R$) la corriente (amperes) viene determinada por la relación entre la tensión y la resistencia, la cual a su vez depende de la longitud y del diámetro del hilo del filamento. Cuanto mayor es la potencia de una lámpara de una tensión dada, más alta es la corriente y por ello mayor el diámetro del hilo del filamento requerido para transportarla.

Cuanto más alta es la tensión de una lámpara de una potencia dada, menor es la corriente y más pequeño el diámetro del filo del filamento. Cuanta más alta es la temperatura de trabajo del filamento, más grande es la porción de la energía emitida que cae dentro de la región visible del espectro de radiación. Puesto que la mayoría de las lámparas de filamento irradian en forma de luz aproximadamente sólo del 10 al 12% de la energía absorbida, es importante diseñar una lámpara para una temperatura de filamento tan alta como sea compatible con una duración de vida satisfactoria.

Ventajas de las lámparas incandescentes.

Encendido inmediato sin requerir aparatos auxiliares, ocupan poco espacio y su costo es bajo. No tiene ninguna limitación para la posición de funcionamiento.

Desventajas de las lámparas incandescentes.

Baja eficiencia luminosa y, por lo tanto, costo de operación relativamente alto, elevada producción de calor, elevada brillantez con deslumbramiento relativo. Vida media limitada.

Potencia nominal (watts)	Flujo luminoso (Lumen)		Eficiencia luminosa (Lumen/watt)	
	127 V	220 V	127 V	220 V
25	220	220	8.8	8.8

40	430	350	10.8	8.8
60	750	630	12.5	10.5
100	1380	1250	13.8	12.5
150	2300	2090	15.4	14.0
200	3200	2920	16.0	14.6
300	4950	4610	16.5	15.3

Tabla 2. 5 Características de las lámparas incandescentes normales.

Lámparas de descarga en gas

El grupo de fuentes luminosas de descargas de gas es muy amplio. Comprende las lámparas fluorescentes tubulares, las lámparas de vapor de mercurio o de sodio, así como los tubos usados para anuncios luminosos. El principio de funcionamiento, el tipo de luz que emiten, así como el campo de aplicación, varía notablemente de tipo a tipo de lámpara. Lo único que tienen en común es el paso de la corriente eléctrica en un gas.

Un problema común de estos tipos de lámparas, son los dispositivos requeridos para su encendido y estabilización de la descarga, el bajo factor de potencia y la necesidad de eliminar el efecto estroboscópico.

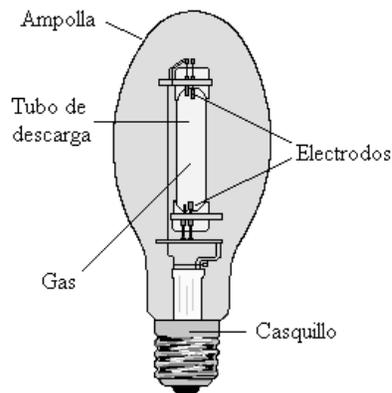


Figura 2. 7 Principales partes de una lámpara de descarga
[\(<http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html>\)](http://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/ldesc1.html)

Lámparas de vapor de mercurio

Estas lámparas están constituidas por un pequeño tubo de cuarzo que contiene vapor de mercurio a una presión elevada y un gas inerte (argón) para facilitar la descarga. En los dos extremos de localizan los electrodos, de los cuales dos son principales y uno o dos auxiliares.

El tubo de cuarzo, denominado también tubo de descarga, está encerrado en un bulbo de vidrio para aislarlo de ambiente externo. El bulbo no sólo absorbe las radiaciones ultravioleta (que dañan los ojos) que dan lugar a la formación de ozono en el aire, también sirven para obtener una mejor calidad de luz cuando está revestido interior mente de polvo fluorescente.

La forma del tubo conocida como isotérmica, permite una distribución uniforme de la temperatura sobre la superficie.

También existen lámparas de forma cilíndrica.

El vidrio de los bulbos es de tipo duro, de manera que resista el efecto térmico y pequeños impactos.

Las lámparas de vapor de mercurio, pueden ser con bulbo fluorescente, con reflector incorporado con luz mezclada y alógenas.

Este tipo de luminarias se recomiendan para iluminación general en grandes edificios industriales, almacenes de depósitos, etc.

Ventajas de las lámparas de vapor de mercurio.

Estas lámparas tienen una buena eficiencia luminosa, ocupan poco espacio y tienen una buena duración de vida media (6,000 a 9,000 horas). Su posición de montaje no tiene limitación a excepción de las lámparas de alógeno.

Desventajas de las lámparas de vapor de mercurio.

Las lámparas de vapor de mercurio necesitan de aparatos auxiliares para encender. El encendido no es inmediato, toma de 4 a 5 minutos para tener la máxima emisión luminosa. Su costo es relativamente elevado.

Los principales tipos de lámparas de vapor de mercurio son los siguientes.

A) Lámparas fluorescentes.

Las lámparas fluorescentes producen luz debido a que existe una descarga eléctrica que excita el gas (vapor de mercurio y un poco de argón) contenido en el tubo, generando una radiación principalmente en el campo de luz ultravioleta. Estas radiaciones se dirigen hacia la parte fluorescente del tubo y se transforman en energía luminosa visible.

Potencia (watts)	Flujo (Lumen)	Luminancia Máxima Candelas/cm ²	Diámetro mm	Altura mm	Eficiencia Lumen/watt
50	2000	4	55	130	32
80	3850	5	70	155	42
125	6500	7.5	75	180	46
250	14000	10.5	90	225	52
400	24000	11.5	120	290	56

Tabla 2. 6 Características de las lámparas de vapor de mercurio de bulbo fluorescente

Las lámparas fluorescentes se pueden dividir en dos categorías: Lámparas de cátodo caliente y lámparas de cátodo frío. Las primeras son en general a igualdad de potencia eléctrica más pequeñas y de un diámetro más grande y tienen una mayor eficiencia. Las lámparas de cátodo frío son más largas y delgadas y se encuentran en una gran variedad de formas, y tienen una mayor duración.

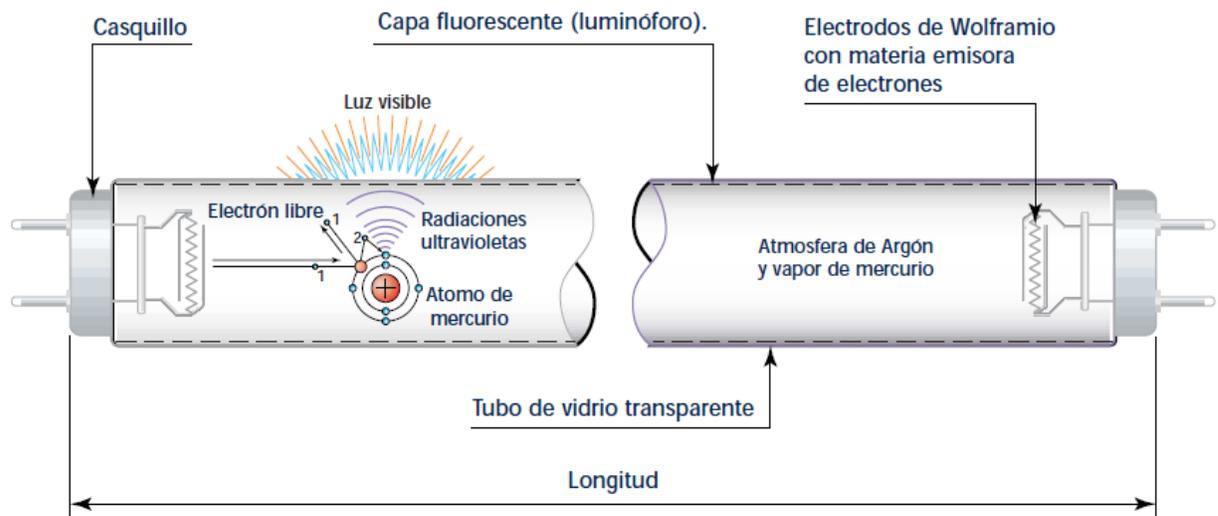


Figura 2. 8 Lámpara fluorescente. (INDALUX)

Las lámparas más usadas de este tipo, es la de cátodo caliente, ya sea para usos comerciales u oficinas.

Para el funcionamiento de cualquiera de estos tipos de lámparas fluorescentes, se necesita un elemento “alimentador” que sirve para limitar y estabilizar la corriente de descarga, este dispositivo se denomina generalmente como reactor o balastro. Cada lámpara requiere de un

reactor que absorbe una potencia variable que depende del tipo de lámpara y de la tensión y que representa del 15 al 40% de la potencia total.

Algunas lámparas fluorescentes tardan unos segundos en encender (encendido con arrancador) y otras encienden al instante. Las lámparas que utilizan arrancador son más económicas por que tienen menos pérdidas y menor costo de alimentación.

Las lámparas que cuentan con encendido instantáneo pueden ser de dos tipos:

- Con precalentamiento de los electrodos. Estas lámparas cuentan con un arrancador rápido, que absorben una potencia mayor que las lámparas con arrancador. Estas lámparas tienen una eficiencia más baja a causa de las mayores pérdidas en los alimentadores.
- Sin precalentamiento de los electrodos. Cuenta con reactores especiales, que absorbe una potencia aun mayor que las lámparas con arrancador rápido. La eficiencia es más baja a causa de las mayores pérdidas en los alimentadores.

Construcción de la lámpara

Electrodos

El tipo de electrodo utilizado en la mayor parte de las lámparas fluorescentes es el de hilo de tungsteno bañado y doblemente arrollado en espiral (“Cátodo caliente”).

El hilo en espiral de tungsteno se recubre con un material emisor (bario, estroncio y óxido de calcio) que cuando se calienta desprende electrones. El proceso se denomina emisión termoiónica, pues, los electrones son emitidos más como resultado del calor desarrollado que de la tensión aplicada. Se crea en el cátodo un punto caliente en el que salta el arco de mercurio y se produce un flujo continuo de electrones. Este tipo de funcionamiento es característico de las llamadas lámparas de “cátodo caliente”.

Fósforos

Los materiales fluorescentes y fosforescentes más comúnmente utilizados en pinturas, tintes y plásticos son excitados por ondas largas ultravioleta de alrededor de 365 nm. Las lámparas fluorescentes emplean fósforos de otros tipos, seleccionados por su eficacia en la conversión de la energía ultravioleta de onda corta de 253.7 nm en luz visible y por ser compuestos estables que mantienen su emisión luminosa a un alto nivel a lo largo de la vida de la lámpara.

El color producido depende de la composición química de los fósforos. Los colores "blanco cálido normal" y "blanco" se obtienen mediante variaciones de un único fósforo, y los "blanco frío normal", "blanco vivo", "blanco frío de lujo", "blanco cálido de lujo", "luz de día" y "blanco suave", mediante una mezcla de fósforos. Las lámparas verdes, azules y rosas usan solamente fósforo de un cierto tipo, en tanto que las doradas y rojas llevan un revestimiento coloreado, añadido al fósforo en la superficie interior del bulbo.

Fósforo	Color de fluorescencia
Silicato de zinc	Verde
Tungsteno de calcio	Azul
Borato de cadmio	Rosa
Halo fosfato de calcio	Blancos de diferentes temperaturas de color
Tungsteno de magnesio	

Tabla 2. 7

Otro fósforo conocido como el 360 BL es una eficaz fuente de radiaciones cercanas al ultravioleta, con una máxima emisión de energía a unos 365 nm. Las lámparas construidas con este fósforo producen una radiación visible mínima y sólo se aplican para activar sustancias fluorescentes y fosforescentes. Por lo demás, las lámparas 360 BL son similares a las fluorescentes normales. Otra lámpara similar, la fluorescente de sol, presenta su máxima emisión de energía alrededor de los 312.5 nm.

Bulbos

Las lámparas fluorescentes, generalmente designadas como "tipo F", se fabrican con bulbos tubulares de diámetros que van desde el T-5 ($5/8$ pulgadas = 16 mm) al T-17 ($2 1/8$ pulgadas = 54 mm). En longitud total abarcan desde 6 a 96 pulgadas (152 a 2.438 mm). Las de forma circular, se pueden encontrar en tres tamaños: $8 1/4$ pulgadas (210 mm), 12 pulgadas (305 mm) y 15 pulgadas (406 mm) de diámetro exterior del círculo.

Casquillos

Las lámparas con cátodos de precalentamiento o de encendido rápido requieren cuatro contactos eléctricos, que en las lámparas de línea normal adoptan la forma de un casquillo de doble patilla en cada extremo. Hay tres tipos corrientes de casquillos de doble patilla: el casquillo miniatura,

el medio y el mogul. En las lámparas circulares los contactos están reunidos en un casquillo de cuatro patillas, situado entre los dos cátodos en los que se unen los extremos de la lámpara. Las lámparas de alta y de muy alta emisión (funcionamiento basado en el principio de encendido rápido), emplean casquillos del tipo de doble contacto.

Las lámparas del tipo de encendido instantáneo requieren sólo dos contactos: las “Slim-line” tienen casquillos de una sola patilla. La lámpara de encendido instantáneo de 40 watts lleva casquillos medios de dos espigas, pero contiene un elemento que sirve de puente eléctrico entre el par de contactos de cada extremo, por lo que posee en realidad un solo contacto en cada extremo. Debido a esta construcción, estas lámparas no pueden funcionar en circuitos de precalentamiento ni de encendido rápido.

Reactancias

Las reactancias para precalentamiento son simples elementos de choque o elementos de choque con auto transformador, dependiendo de la longitud de la lámpara y de la tensión de alimentación. Cuando la tensión de arranque no es mayor que la tensión de servicio, la reactancia es una bobina de choque que simplemente limita la corriente. Cuando la tensión de alimentación no es suficiente para iniciar el arco, la reactancia incluye un autotransformador elevador para proporcionar la tensión necesaria, y una bobina de choque para limitar la corriente.

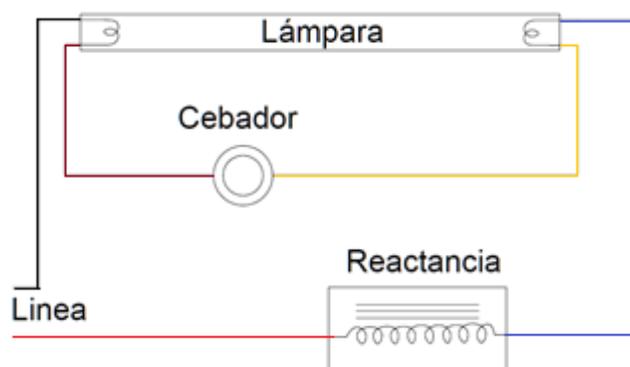


Figura 2. 9 Reactancia simple de choque y bajo factor para una sola lámpara.

Las lámparas de precalentamiento pueden hacerse funcionar con reactancias para una o para varias lámparas. Las reactancias para una sola lámpara no corregida tienen bajos factores de potencia, aproximadamente de 0.45 a 0.60. En el mercado se dispone de equipos de alto factor de potencia para lámparas individuales, así como de condensadores sueltos que pueden emplearse con equipos de bajo factor de potencia.

Las reactancias de dos lámparas de precalentamiento son del tipo adelanto retraso, en el que cada lámpara tiene una bobina de reactancia independiente, con un condensador conectado en serie a una de dichas bobinas, para producir una corriente adelantada en una de las lámparas. Tales reactancias tienen la ventaja de proporcionar un alto factor de potencia (entre 0.90 y 1) y reducir el efecto estroboscópico, con pérdidas reducidas y un costo más bajo de reactancia por lámpara. Como las corrientes de las dos lámparas están desfasadas aproximadamente 115° , las oscilaciones de la luz no ocurren simultáneamente en ambas y el efecto estroboscópico se reduce considerablemente.

Las reactancias múltiples para lámparas de 15 a 40 volts requieren un compensador inductivo que suministra la corriente de precalentamiento adecuada a la lámpara adelantada. Este compensador se conecta en serie con el cebador de la lámpara adelantada y funciona solamente cuando se está iniciando el encendido, desconectándose el circuito cuando se abre el cebador.

Las lámparas de precalentamiento se fabrican en modelos de 15, 20, 25, 30, 40 y 90 volts, así como en otros menores.

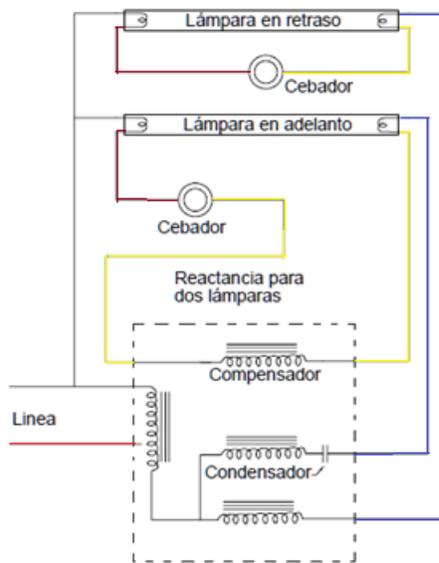


Figura 2. 10 Circuito de precalentamiento de dos lámparas

Lámparas de encendido rápido.

En una lámpara de encendido rápido los electrodos también se precalientan para iniciar el arco, siendo preciso dos contactos en cada extremo para el circuito de caldeo. Un circuito de encendido rápido difiere de uno de precalentamiento en que su tensión de calentamiento la suministra un

devanado especial de la reactancia y no hay ningún interruptor para abrir el circuito cuando salta el arco. Una pequeña corriente de calentamiento fluye a través de los electrodos continuamente mientras la lámpara está luciendo. El encendido es más rápido que en las lámparas de precalentamiento, y se verifica en menos de un segundo en condiciones normales.

Las reactancias dobles de encendido rápido son del tipo secuencia-serie, en el cual las lámparas arrancan sucesivamente y funcionan en serie cuando alcanzan el régimen. Tan pronto como la corriente de calentamiento establece una ionización suficiente para que la tensión disponible de circuito abierto haga saltar el arco, se produce el encendido en tres fases:

1. Se aplica la tensión total del circuito abierto a la primera lámpara, iniciándose el arco en esta.
2. La corriente que circula por la primera lámpara está limitada por una impedancia en paralelo con la otra lámpara. La tensión en bornes de esta impedancia en paralelo inicia el arco en la segunda lámpara.
3. Las dos lámparas se alimentan en serie con corrientes cada vez mayores a medida que la impedancia de la lámpara decrece, hasta llegar al funcionamiento estable de cátodo caliente a la intensidad del régimen.

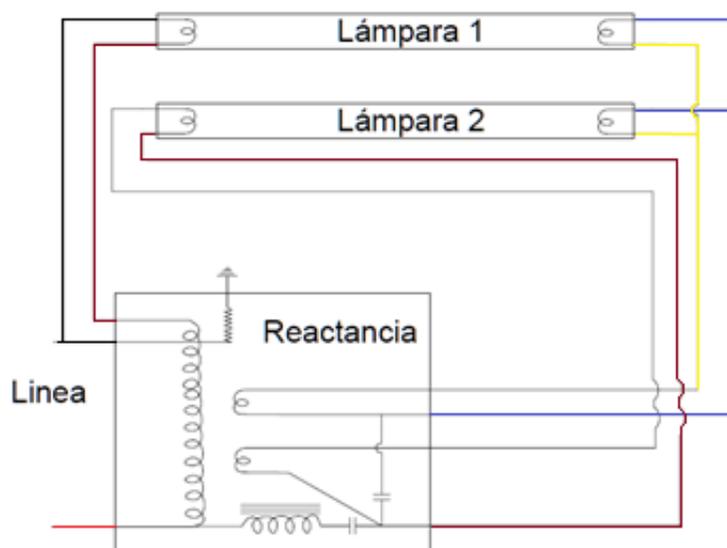


Figura 2. 11 Circuito serie. Secuencia para dos lámparas de encendido rápido.

También existen reactancias de encendido rápido para una sola lámpara.

Con objeto de asegurar el encendido en toda clase de circunstancias, las lámparas conectadas a una reactancia de encendido rápido deben montarse a una distancia de menos de 25 mm de una

tira de metal puesta a tierra, de anchura no inferior a 25 mm y colocada a todo lo largo de la lámpara.

Entre las lámparas proyectadas según el principio del encendido rápido se incluyen las de 30 watts, las Circline, las de alta emisión y las de muy alta emisión. Las lámparas de alta emisión trabajan con una corriente de 800 miliamperes para la mayoría de las aplicaciones en interiores y con 1.00 amperios para las de exteriores, tales como alumbrado de calles, iluminación extensiva y señales luminosas. A 800 miliamperes producen un 40% más de luz que las normales de tamaño auxiliar. Las lámparas de muy alta emisión tienen una corriente de funcionamiento aún mayor, 1.50 amperes, y producen el 250% más de luz que las normales del mismo tamaño. El funcionamiento absorbiendo potencias tan altas en bulbos T-12 es posible gracias a dos peculiaridades del diseño; la existencia de una cámara de enfriamiento a cada lado de la lámpara detrás del electrodo, con lo que se impide que la presión del vapor de mercurio suba demasiado para una producción eficaz de luz, y el uso de una mezcla de gases raros que confiere una larga vida a los electrodos y un buen mantenimiento de la emisión luminosa.

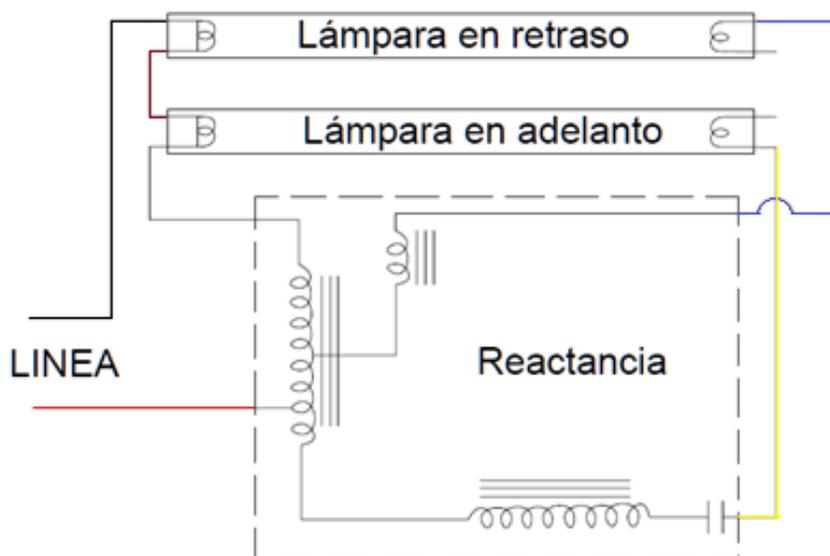


Figura 2. 12 Circuito adelantado. Retroceso para dos lámparas de encendido instantáneo.

Una variedad de lámparas de muy alta emisión (SHO) conocida como la SHO II lleva un collar único incorporado, que contiene un metal raro montado sobre la espiga por la parte interior de la lámpara. Dicho collar mejora aún más la regulación de la presión del vapor para obtener una producción eficaz de luz por encima de los 100° de temperatura ambiente. La lámpara SHO II da

hasta un 25 % más de luz a temperaturas extremas que en otras lámparas harían disminuir su eficiencia.

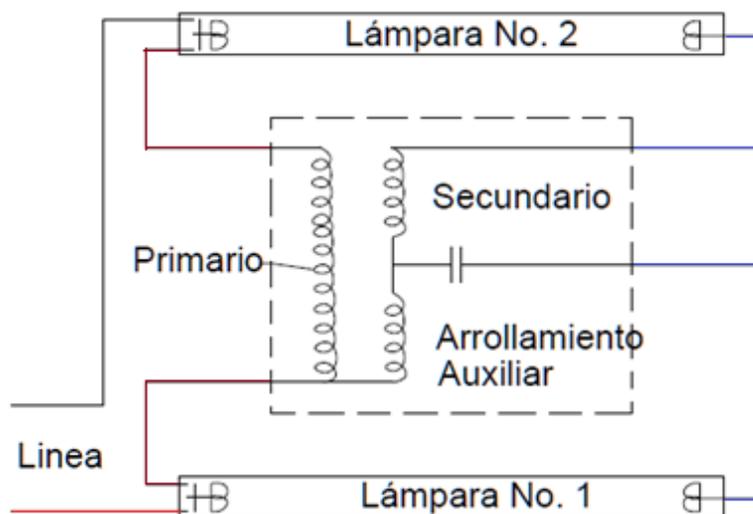


Figura 2. 13 Circuito secuencia. Serie para dos lámparas de encendido instantáneo.

Lámparas fluorescentes compactas.

Los focos de luz fluorescente compacta (CFL) ofrecen luz suave y cómoda que produce una atmósfera acogedora. Los focos CFL ofrecen alto rendimiento, ahorro de energía y luz de larga duración. Estos focos son las lámparas de ahorro de energía más vendidas, que combinan la energía de la iluminación fluorescente con la comodidad y la popularidad de las luminarias incandescentes.



www.china-solar-lights.com

Figura 2. 14 Lámparas fluorescentes compactas. (www.china-solar-lights.com)

Los focos fluorescentes compactos encajan en la mayoría de las luminarias diseñados para focos incandescentes y utilizan alrededor de un 75 % menos de energía. Las CFL duran entre 6 y 15 veces más (6000 – 15 000 horas), son más rentables y eficientes en zonas donde las luces estén encendidas durante largos períodos de tiempo.

Desde lámparas de mesa e iluminación empotrada hasta luminarios decorativos, las lámparas fluorescentes están disponibles en las formas y tamaños de siempre en blanco suave, natural o luz de día.

Historia

Los focos CFL se presentaron a mediados de la década de 1980. El rendimiento, la eficiencia (alrededor de un 80 % menos de energía que las incandescentes) el precio y la vida útil (duran 10 veces más) han mejorado desde 1990. El foco CFL es una buena opción para usarla en el hogar. Las CFL tienen hasta una etiqueta Energy Star.

Funcionamiento

La luz de un foco fluorescente se crea en primer lugar, mediante una corriente eléctrica que se conduce a través de un gas inerte para producir luz ultravioleta, que resulta invisible para el ojo humano. La luz ultravioleta, a su vez interactúa con mezclas especiales de fósforos que revisten la superficie interior del tubo de la lámpara fluorescente, que convierte eficazmente la luz invisible en luz blanca visible. Los focos fluorescentes requieren una fuente de alimentación especial denominada balasto, necesario para regular la corriente de funcionamiento de la bombilla y proporcionar una tensión de encendido compatible. Los balastos electrónicos desempeñan la misma función que un balasto magnético, pero superan en rendimiento a los productos magnéticos obsoletos funcionando a una frecuencia muy alta que elimina el parpadeo y el ruido, al mismo tiempo que aumenta la eficacia. Los balastos electrónicos también tienen un diseño más sencillo que permite un funcionamiento más coherente y eficiente de las lámparas, la regulación de las lámparas y la conexión en red de productos de iluminación para el control avanzado de la iluminación.

Ventajas de las lámparas fluorescentes compactas.

Con las lámparas fluorescentes compactas, ofrecen una luz brillante y estimulante al mismo tiempo que ahorran dinero y energía. Son perfectos para la iluminación de tareas en estudios,

oficinas, en casa y otros espacios que necesiten brillo especial; duran hasta 20 veces más que los focos incandescentes tradicionales y gastan hasta un 80 % menos de energía

Están disponibles en una amplia variedad de formas y tamaños:

- La forma de barra, muy popular, es perfecta para la iluminación funcional, habitualmente en luminarias comunes, en lámparas de pantalla, donde el foco es menos visible.
- La forma espiral compacta es una opción perfecta para luminarias de menor tamaño y la ideal si se necesita más flujo luminoso para llenar de luz un espacio
- La bombilla estándar es la forma más familiar, la más adecuada para crear ambiente y una atmósfera acogedora, y se utiliza sobre todo en lámparas de mesa o luminarias de techo.
- Las formas decorativas (globos, velas) se utilizan para luminarias más decorativas, donde el foco es más visible.

B) Lámparas de vapor de mercurio con luz mixta.

Estas lámparas proporcionan una luz mixta de la lámpara de vapor de mercurio a alta presión y de la lámpara incandescente. Al tubo normal de descarga se le agrega un filamento metálico (conectado en serie), que asume la doble función de proporcionar radiaciones luminosas de color rosa (típica de las lámparas incandescentes) y de servir como resistencia estabilizadora de la descarga. Por tal motivo, no se requiere de elementos auxiliares de alimentación.

Estas lámparas se usan para sustituir, en ciertos casos, a las lámparas incandescentes de elevada potencia, por la mayor cantidad de flujo luminoso que emiten y su mayor eficiencia luminosa, así como un tiempo de vida mayor.

Tienen la restricción de la posición de montaje, que varía con la potencia, por lo que es conveniente consultar el catálogo del fabricante para su instalación. Tienen una vida media de 5,000 horas.

Partes principales

A excepción del filamento y del gas utilizado en la ampolla externa, las partes de las lámparas de vapor de mercurio con luz mixta son las mismas que las lámparas de vapor de mercurio a alta presión.

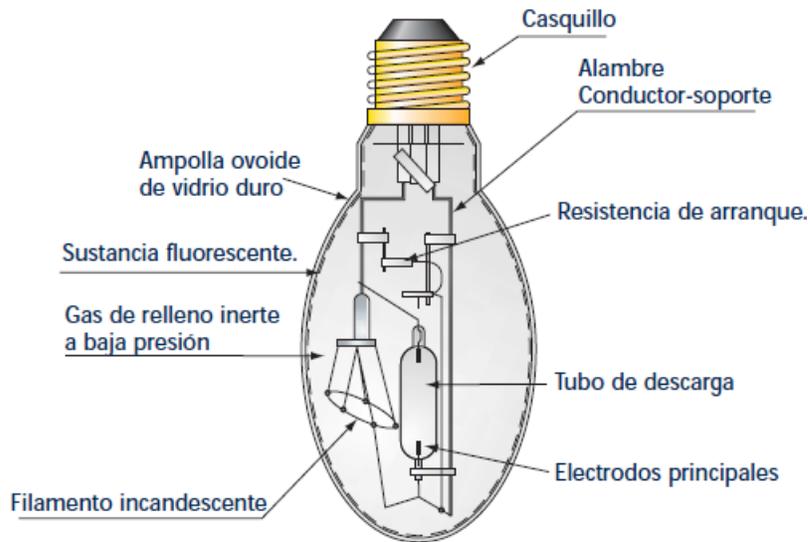


Figura 2. 15 Lámpara de vapor de mercurio con luz mixta (INDALUX)

Filamento: El filamento, que también actúa como un balasto de resistencia para el tubo de descarga, es un alambre de wolframio enrollado igual que en la lámpara incandescente. Está conectado en serie con el tubo de descarga y situado junto o alrededor del mismo, para obtener buena mezcla de luz y para fomentar el rápido encendido del tubo.

Gas de relleno en ampollas externas: Así como en las lámparas incandescentes, el gas de relleno en lámparas de luz mezcla está compuesto de argón pero agregándole un porcentaje de nitrógeno para evitar un arco en el filamento. Comparada con la lámpara standard de vapor de mercurio a alta presión, se utiliza una presión mayor de llenado para mantener la evaporación del wolframio al mínimo.

Lámparas de vapor de mercurio con luz mixta tienen la ventaja de que pueden conectarse directamente a la red (no precisan de balasto y arrancador para su funcionamiento). Tardan unos dos minutos en el encendido y no se puede efectuar el reencendido hasta que no se enfría.

Potencia (Watts)	Flujo luminoso (Lumen)	Diámetro (mm)	Altura (mm)	Eficiencia luminosa (Lumen/Watt)
160	3100	87	187	19
250	5600	106	230	22
500	14000	130	275	28
1000	32500	160	315	32

Tabla 2. 8 Características de las lámparas de vapor de mercurio de luz mixta

C) Lámparas de vapor de mercurio de alta eficiencia luminosa.

Existen lámparas denominadas así por tener una eficiencia luminosa entre 70 y 140 lumen/watt, Incluyendo las pérdidas en el alimentador, existen de yoduro metálico y de vapor de sodio a elevada presión. Su principal aplicación es cuando se requiere obtener un alto nivel de iluminación, como por ejemplo, en estacionamientos, áreas extensas y grandes almacenes, etc. Este tipo de lámparas tiene una presentación en bulbos tubular claro.

Potencia (Watts)	Flujo luminoso (Lumen)	Luminancia (candela/cm ²)	Eficiencia luminosa (Lumen/Watt)	Diámetro (mm)	Longitud (mm)
250	19000	1100	70	46	70
360	28000	700	73	46	73
1000	80000	810	77	80	77
2000	170000	920	82	100	82
3500	300000	880	82	100	82

Tabla 2. 9 Características de las lámparas de vapor de mercurio de alta eficiencia luminosa.

Lámparas de vapor de sodio

Las lámparas de vapor de sodio se dividen en lámparas de sodio a baja presión y lámparas de sodio a alta presión.

A) Lámparas de sodio a baja presión

Las lámparas de sodio a baja presión se presentan normalmente en la forma de bulbo tubular de vidrio que contiene en su interior el tubo de descarga doblado en forma de U. Su color es casi amarillo, ya que se encuentra dentro de la gama de los colores monocromáticos. La eficiencia de estas lámparas es muy alta y alcanza valores entre 130 y 180 Lumen/watt.

La utilización típica de estas lámparas, se encuentra en la iluminación de áreas externas en donde la tonalidad de los colores no es muy importante y en donde las luces monocromáticas presentan la ventaja de menos dispersión en caso de niebla.

El encendido de estas lámparas es lento, ya que se requiere de aproximadamente unos 10 minutos para alcanzar el 80% del flujo luminoso y otros 5 minutos para llegar al 100%. El reencendido,

después de que se apaga en forma momentánea, es rápido. Para la alimentación de estas lámparas, se requiere:

- Para las de potencia más pequeña (18 watts), un reactor con un condensador intercalado de unos 5 microfarads.
- Para las de potencia mayor a los 18 watts y hasta los 180 watts, de un transformador elevador de flujo disperso, así como un condensador para la corrección del factor de potencia, que por lo general es de mayor capacidad que los de otros tipos de lámparas a igualdad de potencia. La duración económica es del orden de 6,000 horas.

Potencia (Watts)	Flujo (Lumen)	Luminancia (candelas/cm ²)	Diámetro (mm)	Largo (mm)	Eficiencia (Lumen/watt)
Bulbo tubular claro					
18	1800	10	53	215	67
35	4800	10	52	310	86
55	8000	10	52	425	105
90	13500	10	66	530	116
135	22500	10	66	775	128
180	33000	10	66	1120	150

Tabla 2. 10 Características de las lámparas de vapor de sodio a baja presión.

Principio de funcionamiento.

El tubo de descarga de una lámpara de sodio de baja presión es en general, en forma de U y está contenido en una cubierta exterior de vidrio tubular vacío, con capa de óxido de indio en la superficie interna. El vacío, junto con la capa, la cual actúa como un reflector selectivo de infrarrojo, ayuda a mantener la pared del tubo de descarga a una temperatura de trabajo adecuada. Estas medidas son necesarias para que el sodio, que cuando se condensa se deposita en hendiduras del vidrio, se evapore con una pérdida mínima de calor; debido a eso, se logra la mayor eficiencia luminosa posible.

El gas neón presente dentro de la lámpara, sirve para iniciar la descarga y para desarrollar el calor suficiente como para vaporizar el sodio. Esto responde por la luminiscencia rojo-anaranjada durante los primeros pocos minutos de trabajo. El sodio metálico se evapora en forma gradual, debido a eso, se produce la característica luz amarilla monocromática, con líneas de 589 nm y 589'6 nm en el espectro. El color rojo, que en principio se produce por la descarga de neón, se

suprime enérgicamente durante el funcionamiento porque los potenciales de excitación y de ionización de sodio son mucho menores que los del neón.

La lámpara alcanza su flujo luminoso establecido en aproximadamente diez minutos. Volverá a arrancar de forma inmediata en caso de que el suministro de alimentación se interrumpa momentáneamente, ya que la presión de vapor es bastante baja y el voltaje aplicado suficiente como para restablecer el arco.

Partes principales.

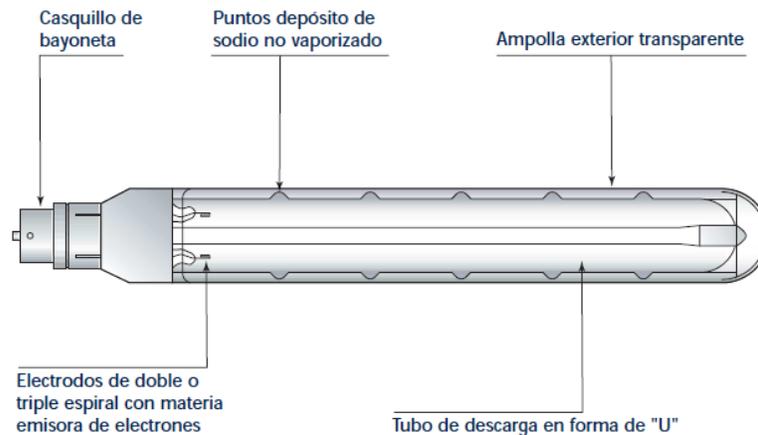


Tabla 2. 11 Lámpara de sodio a baja presión. (INDALUX)

Tubo de descarga y soportes: El tubo de descarga de una lámpara de sodio de alta presión es en forma de U, para aprovechar espacio y proveer un mejor aislamiento térmico. Está hecho de vidrio, y posee una superficie interna revestida de vidrio de borato para formar una capa protectora contra el vapor de sodio.

El tubo contiene además, un número de pequeñas hendiduras, o agujeros, donde se deposita el sodio durante la fabricación.

Relleno del tubo de descarga: El relleno del tubo de descarga consiste en sodio metálico de alta pureza y en una mezcla de neón y argón, la cual actúa como un gas de arranque y de amortiguación.

Electrodos: Las lámparas de sodio de baja presión poseen electrodos de arranque frío. Estos consisten en un alambre de wolframio triple, de manera que puede mantener una gran cantidad de material emisor.

Ampolla externa: Está vacía y se reviste en su superficie interna con una fina película de material reflector infrarrojo. El reflector infrarrojo sirve para reflejar la mayor parte de la radiación de calor que vuelve al tubo de descarga, manteniéndolo de ese modo, a la temperatura deseada, mientras que transmite la radiación visible.

B) Lámparas de sodio a alta presión

Este tipo de lámparas se encuentran disponibles en varias formas.

- Con bulbo elipsoidal difundente.
- Con bulbo tubular de vidrio claro.
- Con bulbo tubular de cuarzo y dos patas de conexión.

La luz de estas lámparas da un color que los fabricantes definen como “blanco dorado”, pero que tiende un poco al amarillo fuerte.

Con relación a las lámparas de vapor de mercurio, las cuales se analizan frecuentemente como alternativa para la solución de un problema de iluminación, se puede decir que la de vapor de sodio a alta presión tiene una eficiencia mucho mayor y, de hecho, son aplicables a soluciones de iluminación en áreas industriales en donde la tonalidad de colores no es muy importante.

Su encendido requiere, en lugar del arrancador normal usado para las lámparas fluorescentes o de vapor de mercurio, de un encendido un poco especial. Algunas lámparas del tipo bulbo elipsoidal, se construyen con el encendedor incorporado, de manera que permita la inmediata sustitución de las lámparas de vapor de mercurio que tienen las mismas características y pudiendo usar el mismo alimentador. El encendido de estas lámparas requiere de un tiempo similar al de las lámparas de vapor de mercurio, pero pueden operar sin problemas a temperaturas muy bajas, hasta los 40 °C bajo cero.

El reencendido en caliente es mucho más rápido, requiriendo de 1 a 2 minutos de las de pequeñas potencias a las de gran potencia. El tipo de lámpara de bulbo tubular con dos "patas" de conexión, se puede reencender en caliente en forma "instantánea". La duración o tiempo de vida es del orden de 6,000 horas. El costo de estas lámparas es superior a igualdad de características a la correspondiente de vapor de mercurio, pero ofrecen ventajas en número de encendido y duración.

Las lámparas de sodio de alta presión irradian energía a través de una buena parte del espectro visible. Por lo tanto, en comparación con la lámpara de sodio baja presión, ofrecen una reproducción de color bastante aceptable.

Partes principales

Las partes principales de una lámpara de vapor de sodio a alta presión son las siguientes:

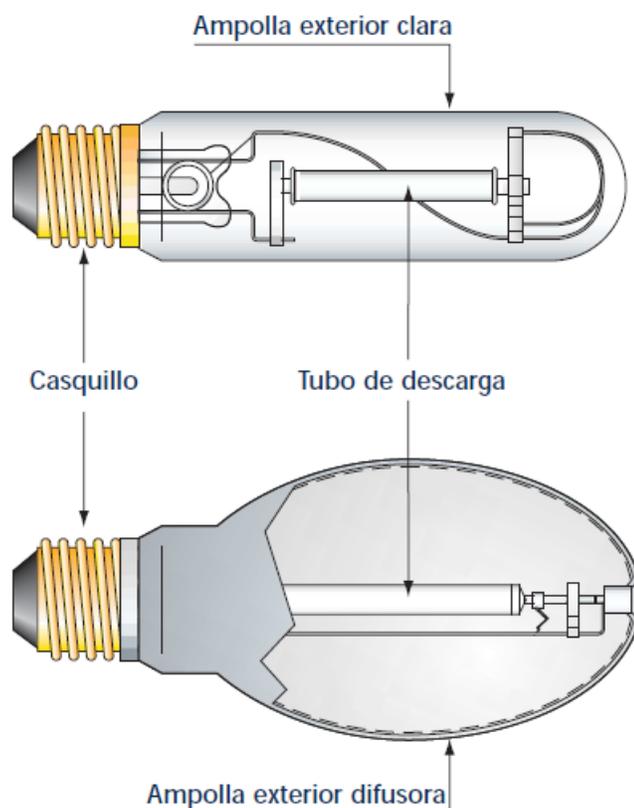


Figura 2. 16 Lámparas de vapor de sodio a alta presión. (INDALUX)

Tubo de descarga: El tubo de descarga está hecho de cerámica de óxido de aluminio (aluminio sinterizado) muy resistente al calor y a las reacciones químicas con el vapor de sodio.

Electrodos: Los electrodos, cubiertos por una capa de material emisor, consisten en una varilla de wolframio con una serpentina de wolframio enroscada alrededor de la misma.

Relleno: En el interior del tubo de descarga se encuentran sodio, mercurio y un gas nobles (xenón o argón) de los cuales es el sodio el principal productor de luz.

Ampolla externa: Esta ampolla está generalmente vacía.

La forma puede ser tanto ovoide como tubular. La primera posee un revestimiento interno. Sin embargo, ya que el tubo de descarga de la lámpara de sodio alta presión no produce, prácticamente, ninguna radiación ultra violeta, el revestimiento es simplemente una capa difusa de polvo blanco, para disminuir el elevado brillo del tubo de descarga. La ampolla tubular es siempre de vidrio claro.

Arrancadores y arrancadores auxiliares: Muchas de las lámparas de sodio de alta presión poseen un arrancador auxiliar incorporado, el cual ayuda a reducir la medida del voltaje pico de encendido que se necesita para encender la lámpara. A veces ambos, el arrancador incorporado y el arrancador auxiliar, se encuentran en la misma lámpara.

Estas lámparas precisan de un equipo auxiliar formado por un balastro con tensión de impulso según tipo. También necesitan un condensador de compensación.

Los valores nominales se alcanzan al cabo de cinco minutos de encendido. Cuando se apaga una lámpara, debido a la gran presión del quemador, necesita enfriarse entre cuatro y quince minutos para encenderse nuevamente.

Potencia (Watts)	Flujo luminoso (Lumen)	Luminancia media (candelas/cm ²)	Diámetro (mm)	Largo (mm)	Eficiencia (Lumen/watt)
Lámparas de bulbo elipsoidal difundente					
70	5800	8	70	155	66
150	14800	10	90	230	84
250	25000	19	90	230	90
400	47000	24	120	290	107
10000	120000	36	165	400	110
Lámparas de bulbo elipsoidal difundente con sistema de encendido					
210	19000	15	90	230	82
350	34000	22	120	290	91
Lámparas con bulbo tubular claro					
150	14500	300	48	230	87
250	25500	360	48	260	92
400	48000	550	48	285	109
1000	130000	650	66	400	119

Lámparas con bulbo tubular de cuarzo con dos patas					
250	25500	400	23	205	92
400	48000	550	23	205	109

Figura 2. 17 Características de las lámparas de sodio a alta presión.

Lámparas LED

Las lámparas LED son dispositivos que incorporan uno o más módulos LED. La lámpara puede estar provista de un casquillo.

La tecnología LED

Un LED (LED: light emitting diode) es un semiconductor que emite luz cuando se polariza de forma directa y es atravesado por una corriente eléctrica.

Es un semiconductor unido a dos terminales (ánodo y cátodo), cuando pasa corriente eléctrica produce un efecto llamado electroluminiscencia. La electroluminiscencia transforma la energía eléctrica en radiación visible. Por tanto son fuentes de luz, sin filamento o gas inerte que lo rodee, ni capsula de vidrio que lo recubra como las tecnologías tradicionales.

El LED data de 1956 y las primeras aplicaciones comienzan en 1970. Por su baja eficacia luminosa en un principio eran muy pocas sus aplicaciones, utilizándose en los electrodomésticos, en la electrónica de entretenimiento y en la industria automovilística; después de largas investigaciones se ha conseguido que su eficacia sea superior.

Los nuevos LED que emiten luz son semiconductores compuestos, que convierten la energía eléctrica en luz. Con un tamaño pequeño ofrecen decisivas ventajas gracias a su avanzada tecnología, que los convierten en una alternativa a las lámparas en muchas aplicaciones.

Los LED tienen diversas características como:

- Eficacia luminosa cuya evolución los sitúa actualmente en 100 lm/W y la tendencia es seguir creciendo hasta posiblemente alcanzar los 200–230 lm/W en 10 años.
- Alta eficacia de color conseguida en los colores rojo, naranja, amarillo, verde, azul y blanco, y además con buena reproducción cromática.
- Larga vida útil que oscila entre 50.000 y 100.000 horas, lo que significa que su funcionamiento es altamente fiable.

- Resistencia a golpes y vibraciones dado que sus componentes son muy compactos, pudiendo trabajar en condiciones mecánicas adversas.

Sin radiaciones perjudiciales ya que emiten prácticamente luz visible, evitando la radiación ultravioleta y sin apenas radiación infrarroja.

Tipos y formatos en los que se puede encontrar el LED

- Led Común: se utilizan en la mayoría de los electrodomésticos. Actualmente se están utilizando para señalización vial, como semáforos, consiguiendo un ahorro energético para las entidades públicas.



Figura 2. 18 LED Común (PHILIPS)

- LED SMD: Esto le ofrece ciertas características muy interesantes para todo el mundo de la iluminación:
 - Permiten una amplia variedad de colores, según el material semiconductor que se utilice en su fabricación. En su modelo RGB, utiliza tres LEDs con los colores primarios, con lo que puede desarrollar hasta 16 millones de colores mediante la mezcla aditiva. El usuario puede seleccionar el color deseado mediante un mando a distancia o controlador, subir o bajar la intensidad de la luz y hacer increíbles efectos luminosos.
 - El índice de reproducción cromática es alto, de hasta el 80%. Esto quiere decir que reproduce los colores fielmente.



Figura 2. 19 LED SMD y módulo SMD (www.shoptronica.com)

- El LED COB: corresponde a las siglas "Chip on board" ("chip en la placa"), en el cual se han insertado multitud de leds en un mismo encapsulado. De esta manera, nos proporciona más rendimiento lumínico: esto quiere decir que con la misma potencia y tamaño, el LED COB aporta más luz que el SMD.



Figura 2. 20 LED SMD y módulo SMD (www.shoptronica.com)

La decisión de cuál de las tecnologías debe utilizarse depende principalmente de la aplicación propuesta. Típicamente la tecnología SMD se usa más para módulos de superficie, mientras que la tecnología COB se aplica para módulos compactos.

Ventajas y desventajas del uso del LED

VENTAJAS

- Alta eficiencia.

La iluminación LED consume un 80 a 90% menos de electricidad que una bombilla corriente de características similares. Esto aproximadamente, significa un 90% de ahorro en la factura eléctrica. Con las lámparas de LED se ha conseguido la mayor eficiencia lumínica, llegando hasta 130 a 150 lúmenes por watt en las bombillas más eficientes, y a 80 lúmenes por watt en las más populares. Como ejemplo la eficiencia lumínica de un halógeno es tan solo de 20 a 25 lúmenes por watt.

- Muy bajo consumo

Consumen 2.5 veces menos que una bombilla de bajo consumo convencional y 8.9 veces menos que una bombilla incandescente de las de toda la vida, esto conlleva un impresionante ahorro económico, que puede llegar al 90% en la factura de la luz.

- Duración

Las bombillas LED no tienen filamentos u otras partes mecánicas de fácil rotura. No existe un punto en que cesen de funcionar, su degradación es gradual a lo largo de su vida. Se considera una duración entre 30,000 y 50,000 horas, hasta que su luminosidad decae por

debajo del 70%, eso significa entre 10 y 30 años en una aplicación de 10 horas diarias 300 días/año, reduciendo los costes de mantenimiento y remplazo.

- Calidad de la luz emitida

El índice cromático de color, proporciona una medida de la calidad de la luz, las bombillas LED poseen un índice cromático de color alrededor de 90, consiguiendo que se aprecien mucho más los matices de la luz. La obtenida por fluorescentes y bombillas llamadas de "bajo consumo", además de no ser instantáneas en su encendido, poseen una luz muy poco natural, con un índice cromático de color muy bajo en torno a 44.

- Baja emisión de calor

Al consumir poca energía, las bombillas LED emiten poco calor. Es la llamada luz fría. Por ejemplo, una bombilla halógena gasta de 50W, 45 aproximadamente en emisión de calor, esto supone un gasto extraordinario en aire acondicionado.

- Respuesta instantánea

El encendido y apagado de las bombillas LED es rapidísimo, a diferencia de otros sistemas no se degrada por el número de encendidos; lo que los hace muy útiles en sistemas de apagado y encendido por detección de movimiento.

- Regulables

Algunos modelos LED son regulables, permitiendo el control del gasto energético y la creación del ambiente deseado.

- Ecológicos

Las bombillas LED son totalmente reciclables y ecológicas ya que no contienen mercurio, ni materiales tóxicos como las lámparas fluorescentes.

- Resistencia

Las lámparas LED son mucho más resistentes a los golpes, e incluso aquellas que poseen un bulbo de cristal pueden seguir funcionando si este se rompe.

- Emergencia

Su bajo consumo las hace ideales para sistemas de iluminación de emergencia mediante un sistema de baterías o de generador auxiliar, por lo que pueden ahorrar en sistemas paralelos de iluminación.

- Versatilidad

Se pueden encontrar de todo tipo de colores, incluso la mezcla de ellos mediante los LED RGB2, lámparas, tubos, paneles planos, tiras, farolas, focos industriales, etc.



Figura 2. 21 Casquillos de las bombillas led

- Menores emisiones de CO2

Según el “Ministerio de Energía de Estados Unidos”, la iluminación consume el 22% de la electricidad producida en los Estados Unidos, por lo que la expansión del uso de bombillas LED podría ahorrar una gran cantidad de las emisiones de CO2, el gas al que se considera responsable del calentamiento global.

- Ahorro en cableado de instalación

Debido a que el consumo de energía es mucho menor, las instalaciones eléctricas de las lámparas de LED se hacen con cables de calibres mucho menor, esto se traduce directamente en un ahorro sustancial en el cableado y en las instalaciones. Además en muchas de las sustituciones, simplemente es cambiar un bombillo por otra, ya que los casquillos de las bombillas led y las tradicionales son iguales.

DESVENTAJAS

- Temperatura ambiente

La temperatura ambiente es muy importante en su vida útil, ya que, una subida de 25 grados en dicha temperatura puede producir una reducción del 66 % de su vida útil (subida medida sobre la temperatura óptima de utilización indicada por el fabricante). Esto puede influir en su utilización en fábricas o lugares donde se realicen procesos industriales, que suelen conllevar altas temperaturas.

- Precios elevados

La principal desventaja de los leds es que su precio es notablemente superior al de las lámparas tradicionales.

Tipo de lámpara	Eficiencia (lm/W)	Tiempo de vida (h)	IRC
Halógeno	20	1,200	100
Halógenos metálicos	70 – 108	15,000	65 - 93
Fluorescente	60 – 100	8,000	65 - 85
Sodio baja presión	120 – 200	16,000	0 - 25
Sodio alta presión	95 – 130	28,000	0 - 70
LED	90 – 120	>50,000	60 - 90

Tabla 2. 12 Comparación de las características de las fuentes de luz más usadas.

Luminarias LED de nueva instalación

Luminaria en la que, como su propio nombre indica, todos sus componentes son proporcionados por el fabricante, y no se utiliza ninguna parte mecánica, eléctrica o electrónica de una anterior luminaria.

Estas luminarias, en materia de seguridad eléctrica, compatibilidad electromagnética, etc., deben cumplir con la normativa vigente y deben disponer obligatoriamente de la declaración de conformidad CE emitida por el fabricante. Para aumentar la seguridad e independencia de los fabricantes, a la anterior declaración de conformidad, debe añadirse la correspondiente certificación del producto emitida por un organismo externo acreditado.

Para el caso de luminarias modificadas, el tema es más complejo ya que hay que analizar en cada caso, el límite en la responsabilidad para el fabricante, proyectista e instalador.

Luminarias LED modificadas (re-lamping)

En las luminarias modificadas por re-lamping, puesto que la lámpara LED de “conexión directa” tiene una certificación o marcado CE propio, no se estima necesario una nueva certificación de la luminaria al completo.

Por consiguiente, el fabricante no debe asumir ninguna responsabilidad extra, más allá del cumplimiento de la normativa vigente para la lámpara LED de “conexión directa” a añadir la luminaria original.

Por parte del proyectista o instalador, será necesario la redacción del correspondiente proyecto o en su defecto, la memoria técnica de diseño de la instalación, plan de mantenimiento y calificación energética.

Luminarias LED modificadas (retrofit)

En el caso de luminarias modificadas por retrofit, donde la aportación del fabricante que realiza la adaptación de la luminaria original es más elevado, se hace necesario un análisis más detallado en cuanto a responsabilidades, certificaciones y cumplimiento de normativa.

Si bien en este tipo de luminarias, las modificaciones son mayores, la responsabilidad del fabricante que realiza la adaptación o modificación, debe ser equivalente a lo indicado en las luminarias modificadas por re-lamping. El fabricante debe proporcionar la declaración de conformidad CE que verifica que los dispositivos/módulos a añadir, cumplen con la legislación y normativa vigente.

Por su parte, el instalador tendrá la responsabilidad en cuanto a las acciones derivadas de la propia instalación de dicha tecnología LED en la luminaria original (desconexión o puenteo de un dispositivo existente, etc.).

Además, y tal y como se ha especificado para apartados anteriores, el proyectista o instalador deberá redactar el proyecto o en su defecto, la memoria técnica de diseño de la instalación con las modificaciones realizadas sobre la luminaria original, incluyendo el plan de mantenimiento.

Siempre que sea posible, el fabricante proporcionará información acerca de los márgenes de temperatura entre los que su producto funciona correctamente y cumple con el plazo de garantía correspondiente. No obstante, es aconsejable que el cliente proporcione al fabricante, un modelo de la luminaria a modificar, para que este último pueda verificar/validar la compatibilidad de la luminaria al completo y asegurar así el cumplimiento de las condiciones de garantía de su producto.

CAPITULO III MÉTODOS PARA EL CALCULO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN

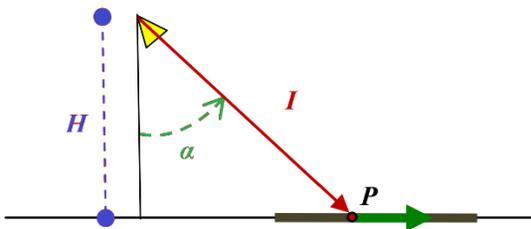
Método punto por punto

El método llamado punto por punto es conceptualmente muy simple pero requiere una cantidad de cálculos tal, que se llega a dudar que alguna vez este método sea aplicado en cálculos manuales y sin embargo lo utilizamos.

El método es reconocido por ser aplicado en iluminación exterior, no tiene en cuenta reflexiones de paredes siendo esa la razón por la cual se aplica en áreas abiertas, exteriores, los resultados se dan generalmente en forma gráfica, mostrando curvas isolux (iluminancia) en el plano iluminado.

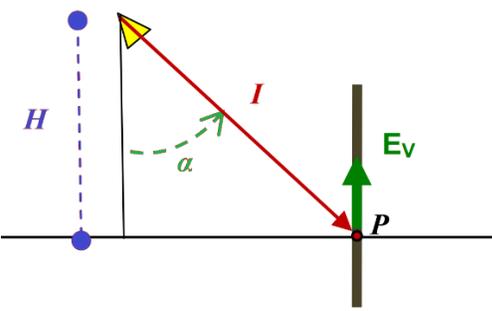
Al aplicar el método punto por punto, tenemos que tener siempre en cuenta que se utilizar con fuentes de luz puntuales como las lámparas incandescentes y de descarga pero no con tubos fluorescentes.

La fórmula a emplear es la siguiente:



En el plano Horizontal

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2}$$



En el plano vertical

$$E_V = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha \cdot \sin \alpha}{H^2}$$

Donde:

E_H = nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en LUX)

E_V = nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (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).

Método de lumen o flujo total

La finalidad del método de lumen es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores.

Para poder aplicar este método, es necesario determinar o conocer los siguientes puntos:

E = Nivel de iluminación medio que se pretende realizar (lux)

Φ = Flujo luminoso emitido por la lámpara para obtener la iluminación deseada (lumen).

S = Superficie total del local (m^2)

μ = Factor de utilización, este factor depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria del índice del local (K) del factor de reflexión del techo y de las paredes del local (dado en tablas o catálogos de fabricantes).

K = índice del local, toma en consideración en ancho y largo del local y la altura de las luminarias. Los valores se expresan en metros.

Para distribución con luz directa, semidirecta, general difusa y directa - indirecta el índice del local se calcula con la siguiente expresión:

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

Para distribuciones con luz semi-indirecta e indirecta el índice del local se calcula con la siguiente expresión:

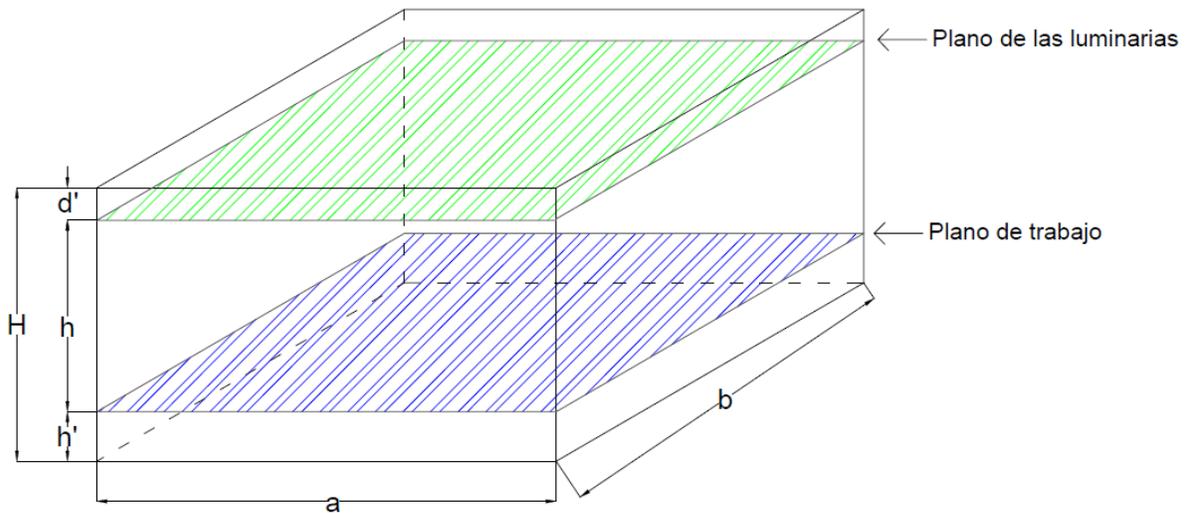
$$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2h(a + b)}$$

Donde:

a = ancho del local (m)

b = largo del local (m)

H = altura del local (m)



La fórmula básica para el cálculo del flujo luminoso total para iluminar un local, es la siguiente:

$$\Phi = \frac{E \cdot S}{\mu \cdot m}$$

m = Factor de mantenimiento.

Para conocer el número de luminarias requerido, se utiliza la siguiente formula:

$$N_L = \frac{\Phi}{\Phi_L}$$

N_L = Numero de luminarias

Φ_L = Flujo luminoso que produce cada lámpara

Método de cavidad zonal

El método de la cavidad zonal o cavidad de zona es un método reciente para el cálculo de alumbrado en interiores. Este método supone que cada cuarto o área consta de tres cavidades separadas las cuales son: cavidad de techo cavidad de piso y cavidad de cuarto. La figura 1, muestra estas cavidades.

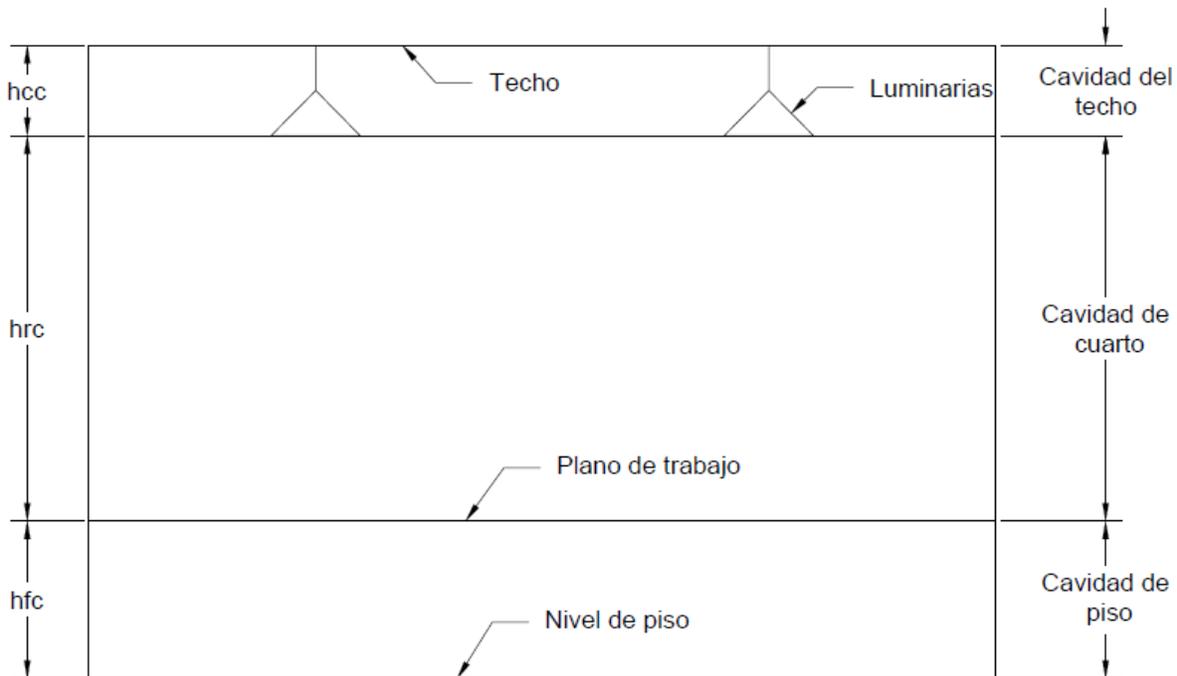


Figura. 3.1

La cavidad de techo se considera desde el plano de las luminarias hasta el techo.

La cavidad de piso se considera del plano de trabajo hacia el piso.

La cavidad de cuarto es el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo.

Los lugares se clasifican a su forma por diez números de relaciones de cavidad. La fórmula para obtener la relación de cavidad de lugares rectangulares es.

$$\text{Relacion de cavidad (RC)} = \frac{5 \times \text{Altura (longitud + ancho)}}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

Donde la altura es la relación de la cavidad en consideración, es decir, de techo, piso o cuarto.

$$\text{Relacion de cavidad de techo (CCR)} = \frac{5 \times \text{hcc} (\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad de cuarto (RCR)} = \frac{5 \times \text{hrc}(\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad piso (FCR)} = \frac{5 \times \text{hfc} (\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

Siendo: hcc = Altura de cavidad de techo hcr = Altura de cavidad del local o cuarto hfc = Altura de cavidad de suelo.

Para lugares que se componen por dos o más rectángulos, por ejemplo en forma de L la relación de cavidad se obtiene utilizando la siguiente formula:

$$\text{Relación de cavidad} = \frac{2.5 \times \text{Área de pared}}{\text{Área de piso}}$$

En el cálculo de la relación de cavidad de techo, el área de pared se calcula multiplicando la distancia entre el plano de las luminarias y la cavidad de techo.

Reflectancia efectiva.

En la iluminación es de interés el concepto de luz reflejada total expresada en términos de reflectancia, que se define como:

$$\text{Reflectancia} = \frac{\text{Luz total reflejada}}{\text{Luz total incidente}}$$

La combinación de las reflectancia de techo y pared, así como el de piso y pared, se deben convertir en reflectancia efectivas de techo y piso. La reflectancia efectiva de las cavidades de techo y piso toman en consideración el efecto de interacción de luz entre las varias superficies del cuarto. Estos valores se dan en tablas.

Coefficiente de utilización.

El coeficiente de utilización, se define matemáticamente como el cociente entre el número de lúmenes existentes en el plano de trabajo y el número total de lúmenes producidos por la lámpara.

$$\text{Coeficiente de utilización (C. U.)} = \frac{\text{Lumenes en el plano de trabajo}}{\text{Lumenes de la lampara}}$$

El coeficiente de utilización es un dato que proporcionan los fabricantes para cada tipo de lámpara.

Cuando la reflectancia efectiva de la cavidad de piso es 18, 19, 21 ó 22%, se puede hacer uso directo de las tablas de los coeficientes de utilización; sin embargo, si la reflectancia efectiva de piso es 17% o menor deberá dividirse por el valor obtenido en la tabla 3.1 y si es 23% o superior deberá multiplicarse por el valor obtenido en la tabla 3.1.

% DE REFLECTANCÍA EFECTIVA DE LA CAVIDAD DEL TECHO, PCT	80	70	50	10
% DE REFLECTANCÍA EFECTIVA DE LAS PAREDES, PM	50 30 10	50 30 10	50 30 10	50 30 10
RELACIÓN DE CAVIDAD DEL LOCAL				
1	1.08 1.08 1.07	1.07 1.06 1.06	1.05 1.04 1.04	1.01 1.01 1.01
2	1.07 1.06 1.05	1.06 1.05 1.04	1.04 1.03 1.03	1.01 1.01 1.01
3	1.05 1.04 1.03	1.05 1.04 1.03	1.03 1.03 1.02	1.01 1.01 1.01
4	1.05 1.03 1.02	1.04 1.03 1.02	1.03 1.02 1.02	1.01 1.01 1.00
5	1.04 1.03 1.02	1.03 1.02 1.02	1.02 1.02 1.01	1.01 1.01 1.00
6	1.03 1.02 1.01	1.03 1.02 1.01	1.02 1.02 1.01	1.01 1.01 1.00
7	1.03 1.02 1.01	1.03 1.02 1.01	1.02 1.01 1.01	1.01 1.01 1.00
8	1.03 1.02 1.01	1.02 1.02 1.01	1.02 1.01 1.01	1.01 1.01 1.00
9	1.02 1.01 1.01	1.02 1.01 1.01	1.02 1.01 1.01	1.01 1.01 1.00
10	1.02 1.01 1.01	1.02 1.01 1.01	1.02 1.01 1.01	1.01 1.01 1.00

Tabla 3. 1

Factor de mantenimiento.

El factor de mantenimiento toma en cuenta la reducción de luz ocasionada por la suciedad y envejecimiento de las lámparas, este factor se puede estimar en función de la información que proporciona el fabricante (categoría de la luminaria) y tomando en consideración, la suciedad que genera las actividades y cada cuando se realiza limpieza, teniendo estos datos podemos ubicarnos en la curva de la categoría de la luminaria para determinar el factor de mantenimiento.

Numero requerido de luminarias.

El número de luminarias según el método de cavidad zonal se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$NL = \frac{AP \times DF}{LPL \times LPL \times U \times M}$$

Donde:

NL = Número de luminarias.

AP = Área del piso del local o cuarto por iluminar.

DF = Nivel de iluminación deseado.

LPL = Número de lámparas por luminaria.

LPL = Lumen por lámpara.

U = Coeficiente de utilización.

M = Factor de mantenimiento.

Arreglo y disposición de luminarias.

Para obtener una iluminación uniforme es necesario distribuir de una manera adecuada las luminarias, tomando en cuenta las dimensiones del local y los aspectos arquitectónicos. Es necesario considerar la máxima separación entre luminarias, dato proporcionado por los fabricantes, para evitar tener zonas de penumbra.

CAPITULO IV

PRÁCTICA 1 “LUXÓMETRO”

OBJETIVOS

- El alumno identificará las diferentes partes que componen un luxómetro.
- El alumno aprenderá a manejar y entender el funcionamiento del luxómetro para la toma de medidas instantáneas de iluminación.

INTRODUCCIÓN

El luxómetro es un aparato que permite medir rápidamente y de forma muy sencilla la cantidad de flujo luminoso que se emite en cada unidad de área. La luz es captada por una célula fotovoltaica que la convierte en impulsos eléctricos. Dichos impulsos son interpretados y expresados en términos de *luxes*, unidades de medidas de los luxómetros. Estos luxes se reflejan en una pantalla.

Un luxómetro capta la luz por una celda fotovoltaica conectada a un circuito integrado. La cantidad de luz, o fotones, que recibe el circuito integrado son interpretados y convertidos en señales eléctricas. La señal eléctrica producida genera el movimiento de una aguja, el encendido de una luz o la aparición de una cantidad en un display, dependiendo del modelo y tipo de luxómetro que se utilice.

Los luxómetros tienen amplias aplicaciones; por ejemplo, se utilizan para medir el brillo reflejado en los actores para que las cámaras los puedan captar correctamente, en los museos permitir adecuar el nivel de iluminación para no dañar las piezas exhibidas, en invernaderos o en actividades ecologistas miden la cantidad de contaminación lumínica, entre otros.

MATERIAL

- Luxómetro Amprobe LM-200LED
- Fuente de Luz
- Mesa de trabajo

DESARROLLO

1.- Revisar los principales componentes del Luxómetro Amprobe LM-200LED que se utiliza para el desarrollo de la práctica. Identifique el sensor de luz, pantalla, interruptor de encendido, unidades, escalas, botones especiales. En la figura 4.1 se muestran las principales partes del luxómetro.

2.- De lectura y comente las especificaciones técnicas del luxómetro Amprobe LM-200LED que a continuación se listan:

Especificaciones generales

Pantalla Lcd 2000 dígitos

Sensor fotodiodo de silicio y filtro.

Ambiente de operación en interior

Altitud hasta 2000m

Medición de luz LED 3½ dígitos, lecturas de 1999

Rango 200, 2,000, 20,000, 200,000 lux

20, 200, 2,000, 20,000, 200,000 Foot-candle

Precisión $\pm 3\%$ (calibrado a lámpara incandescente estándar 2858°K) y corrigiendo el LED del espectro de luz de día. $\pm 8\%$ otras fuentes de luz.

Temperatura / Humedad de operación -10 °C a 40 °C (14°F a 104°F), 0 a 80 %RH.

Fuente de alimentación 9V NEDA 1604, IEC 6F22, JIS 006P batería.

Duración de la batería 200 horas

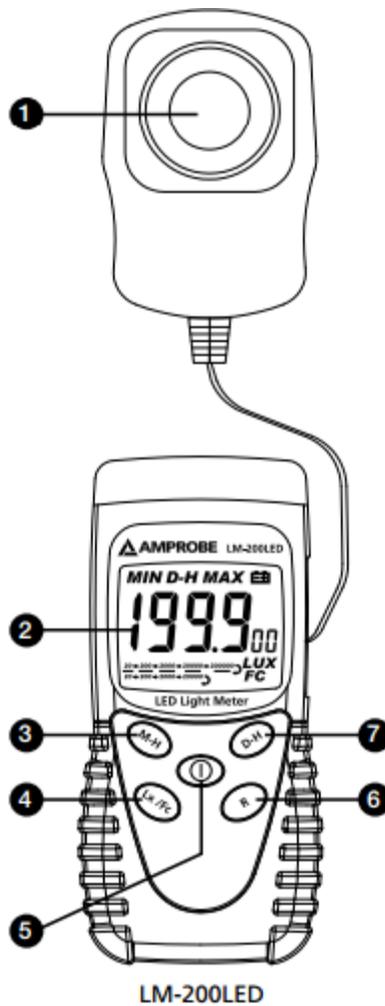
Apagado automático aproximadamente 6 min

Dimensiones (Base) 130 x 63 x 38 mm (5.1 x 2.5 x 1.5")

Dimensiones (Sensor) 80 x 55 x 29 mm (3.2 x 2.2 x 1.1")

Peso 220 g (.48 lb.) batería incluida

Accesorios incluidos Manual de usuario, pila de 9v, estuche de transporte



- ① Light sensor
- ② Display(LCD)
- ③ Lux / foot candles
- ④ MAX HOLD
- ⑤ Power Button: ON/OFF
- ⑥ Manual range selection
- ⑦ DATA HOLD button

Figura 4.1

3.- Preparación del luxómetro.

a) Accionar el botón amarillo de encendido, el display debe mostrar lecturas en cero.

b) Retirar la tapa que cubre el sensor de luz, posicionar las lecturas en luxes con la tecla Lx/Fc y medir la iluminación del lugar de trabajo. Si la lectura indica OL es porque está fuera de rango y se debe de buscar la correcta.

c) Pulsando la tecla D-H consigue congelar el valor actual en la pantalla. Pulse nuevamente la tecla para proseguir con la medición.

d) Si desea registrar el valor máximo, pulse la tecla M-H.

e) Oprimiendo la tecla R mida la iluminación local para los diferentes valores de escala del luxómetro. Registre sus valores en la tabla siguiente.

f) Posicionar las lecturas en foot-candle y repita el inciso anterior.

Escala LUX	Lectura	Escala FC	Lectura
200	<u>39.1</u>	20	<u>3.58</u>
2000	<u>37</u>	200	<u>3.4</u>
20000	<u>001</u>	2000	<u>001</u>
200000	<u>000</u>	20000	<u>000</u>

g) factor de conversión:

$$1 \text{ Fc} = \underline{10.7639} \text{ lx}$$

$$1 \text{ lx} = \underline{0.092903} \text{ Fc}$$

Cuestionario

1. ¿Qué factores pueden afectar la toma de lecturas?

R: La precisión del luxómetro y la iluminación exterior que incide sobre la medición.

2. Menciona algunas aplicaciones del Luxómetro.

R: Se utilizan para medir el brillo reflejado en los actores para que las cámaras los puedan captar correctamente, en los museos permitirá adecuar el nivel de iluminación para no dañar las piezas exhibidas, en invernaderos o en actividades ecologistas miden la cantidad de contaminación lumínica, entre otros.

3. ¿Qué significan las letras OL en el display y que se debe hacer para solucionarlo?

R: Nos indica que la lectura esta fuera de rango y para solucionar debe con presionar la tecla R para colocar el luxómetro en el rango adecuado.

4. ¿Por qué en las escalas más altas se miden lecturas en cero?

R: Porque la iluminación es demasiado baja para que el luxómetro registre una lectura

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

El luxómetro es un instrumento muy importante, el cual sirve para conocer si la iluminación en un cierto lugar es la correcta, para evitar daños a la salud como pérdida de agudeza visual, fatiga ocular, deslumbramiento y para evitar la contaminación visual, por estas razones es importante conocer el funcionamiento correcto de este aparato y tener conocimiento de que iluminación es la adecuada para cada lugar.

CAPITULO V

PRÁCTICA 2 “LEY DE LA INVERSA DEL CUADRADO”

OBJETIVO

- El alumno comprobara la validez de la ley de la inversa del cuadrado de iluminación.

INTRODUCCIÓN

La luz es un fenómeno ondulatorio, considerada una fuente puntual que emite luz de manera uniforme en todas las direcciones.

La ley de la inversa del cuadrado nos dice que la iluminación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre la fuente de luz y la superficie iluminada.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

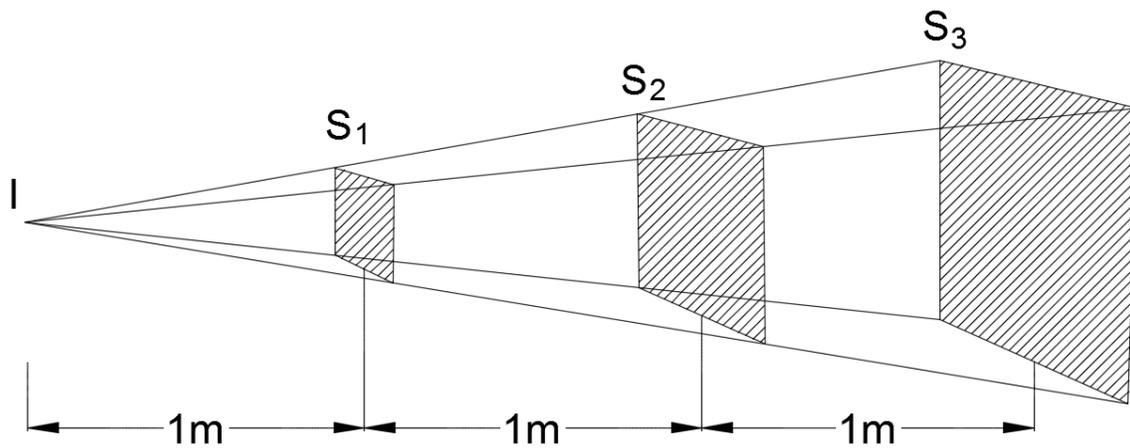


Figura 5.1

Entonces

$$E_{s1} = \frac{I}{1^2}; E = I$$

$$E_{s2} = \frac{I}{2^2}; E = \frac{I}{4}$$

$$E_{s3} = \frac{I}{3^2}; E = \frac{I}{9}$$

MATERIAL Y EQUIPO

- Fuente de luz.
- Luxómetro digital.
- Metro
- Mesa de trabajo

DESARROLLO

1. Colocar el luxómetro frente a la fuente de luz a una distancia de 10 cm como lo muestra la figura 5.2.

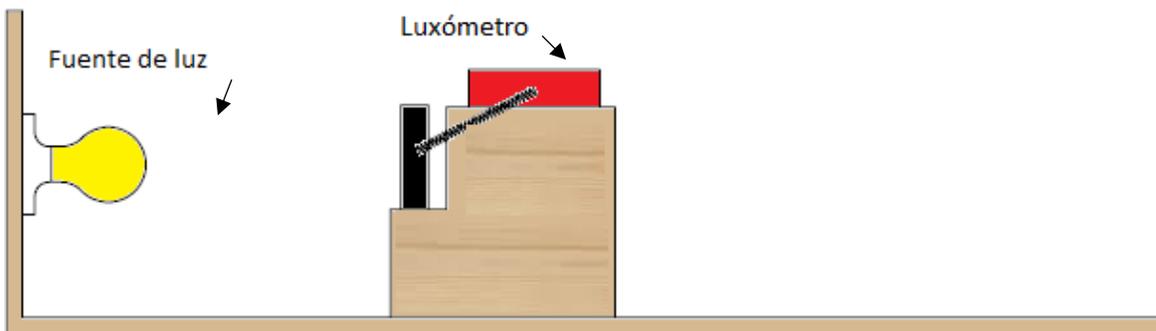


Figura 5.2

- Encender la fuente de luz.
2. Preparar el luxómetro para la toma de mediciones en lux y recuerda utilizar la escala correcta para que tu medición sea más precisa.
3. Tomar la medición a en ese punto.
4. Alejar el luxómetro para tomar las mediciones y llenar la tabla 5.1.

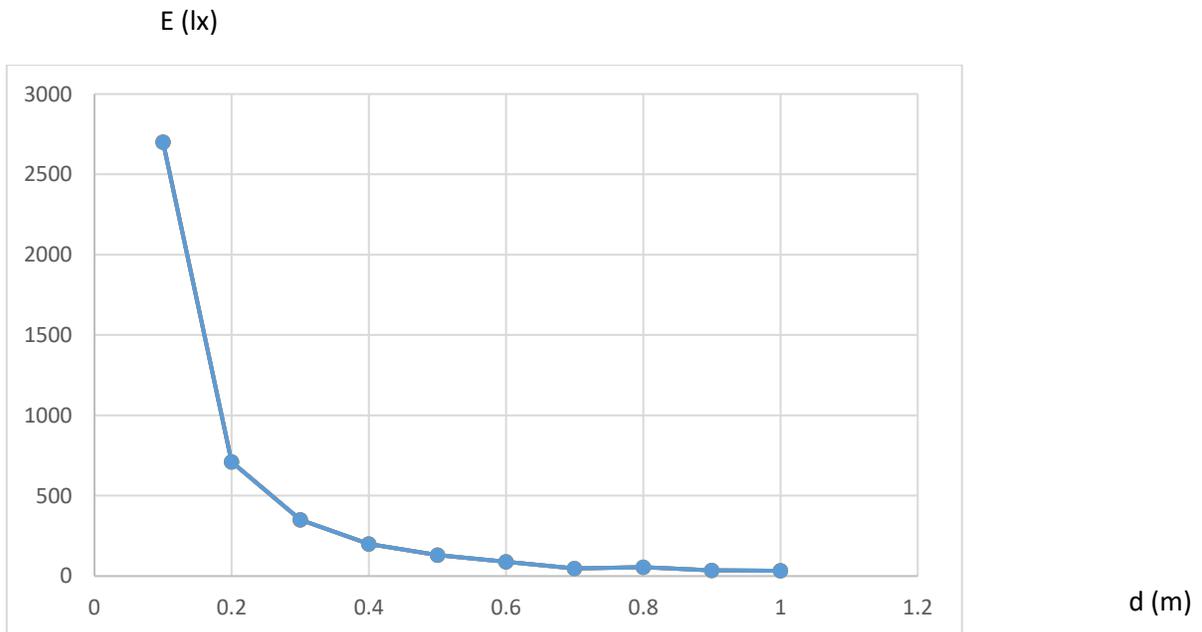
d (m)	I (cd)	E (lx)
<u>.10</u>	<u>28</u>	<u>2800</u>
<u>.20</u>	<u>28.44</u>	<u>711</u>
<u>.30</u>	<u>31.59</u>	<u>351</u>
<u>.40</u>	<u>32.00</u>	<u>200</u>
<u>.50</u>	<u>32.50</u>	<u>130</u>
<u>.60</u>	<u>32.40</u>	<u>90</u>
<u>.70</u>	<u>30.72</u>	<u>48</u>
<u>.80</u>	<u>32.00</u>	<u>55</u>
<u>.90</u>	<u>29.26</u>	<u>35</u>
<u>1.00</u>	<u>33.00</u>	<u>33</u>

Tabla. 5.1

5. Calcular la intensidad luminosa para cada muestra utilizando la siguiente formula y colocar tus resultados en la tabla 5.1.

$$I = Ed^2$$

6. Graficar la relación entre la distancia (d) y la Iluminación (E)



CUESTIONARIO

1.- De acuerdo a la definición de la ley inversa del cuadrado, ¿Cuánto vale la iluminación si la distancia fuese igual a infinito?

R: La iluminación es cero

2.- Si la distancia fuera de cero, ¿Cuál es el valor de la iluminación?

R: La iluminación es igual a infinito

3.- ¿Los valores de la intensidad de la tabla 5.1 son iguales? (explica por qué)

R: Son muy similares pero no son iguales porque en el experimento existen muchos factores que afectan la medición como pueden ser la precisión del luxómetro y las condiciones del lugar donde se realizó el experimento.

4.- Menciona algunos ejemplos donde es importante tomar en cuenta la ley inversa del cuadrado.

R: Al momento de seleccionar la altura de los luminarios ya que si los colocamos muy alto la iluminación podría no ser la suficiente y si los colocamos muy abajo podríamos deslumbrar a las personas, también esta ley es tomada en cuenta por los fotógrafos para iluminar retratos.

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

Podemos concluir que la ley inversa del cuadrado es muy importante para realizar un diseño correcto de iluminación, porque nos permite saber cómo ajustar la altura de los luminarios para cumplir con las necesidades de iluminación del lugar y de esta manera realizar un diseño de iluminación más eficiente.

CAPITULO VI

PRÁCTICA 3 “OBTENCIÓN DE LA CURVA FOTOMÉTRICA”

OBJETIVOS

- El alumno obtendrá la curva de distribución fotométrica de una luminaria.
- El alumno aprenderá como se utilizan la curva de distribución fotométrica de una lámpara.

INTRODUCCIÓN

La luz emitida por un aparato de iluminación se puede representar a través de un sistema gráfico llamado curvas fotométricas. Las mismas son la unión de los puntos de coincidencia entre las varias intensidades luminosas, que se emiten en todas las direcciones en el espacio desde la fuente luminosa, y que forman el sólido fotométrico (Figura 6.1). Por intersección del sólido con planos se obtienen las curvas fotométricas. Cuando estos planos se describen a través de coordenadas polares en las cuales el centro corresponde al centro del aparato, se tienen curvas fotométricas polares. Estos planos se pueden hacer girar alrededor de un eje para explorar en cada punto del sólido fotométrico.

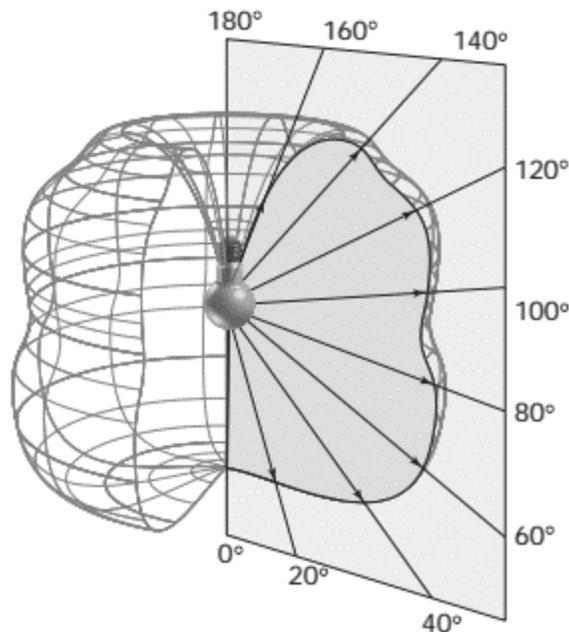


Figura 6.1 Sólido fotométrico de una lámpara incandescente.

Como es complicado trabajar en tres dimensiones, para simplificar el trabajo se realizan cortes al sólido fotométrico de modo que se obtiene una curva en dos dimensiones, conocida como curva de distribución luminosa o curva fotométrica (figura 6.2), mucho más sencilla de comprender.

La curva fotométrica de una fuente de luz nos permite conocer con exactitud la intensidad luminosa en cualquier dirección, lo cual resulta de mucha utilidad al realizar diseños de iluminación.

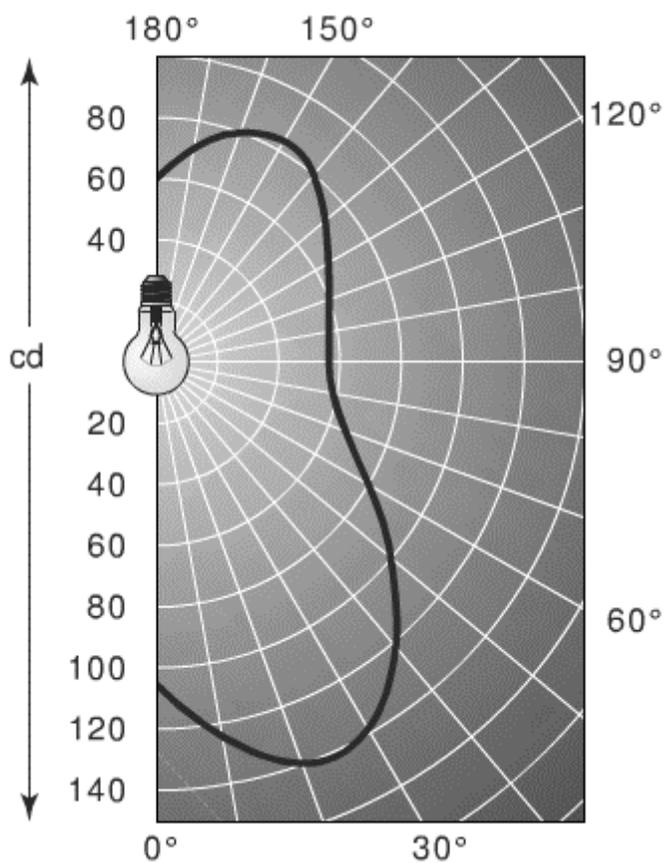


Figura 6.2 Curva fotométrica de una lámpara incandescente.

MATERIAL

- Luxómetro Amprobe LM-200LED.
- Fuente de Luz.
- Transportador.
- Metro.

DESARROLLO

1. Colocar la fuente de luz a un metro de distancia de la luminaria como lo muestra la figura 6.3.
2. Con ayuda del transportador marcar ángulos cada 10° como aparece en la figura 6.3.

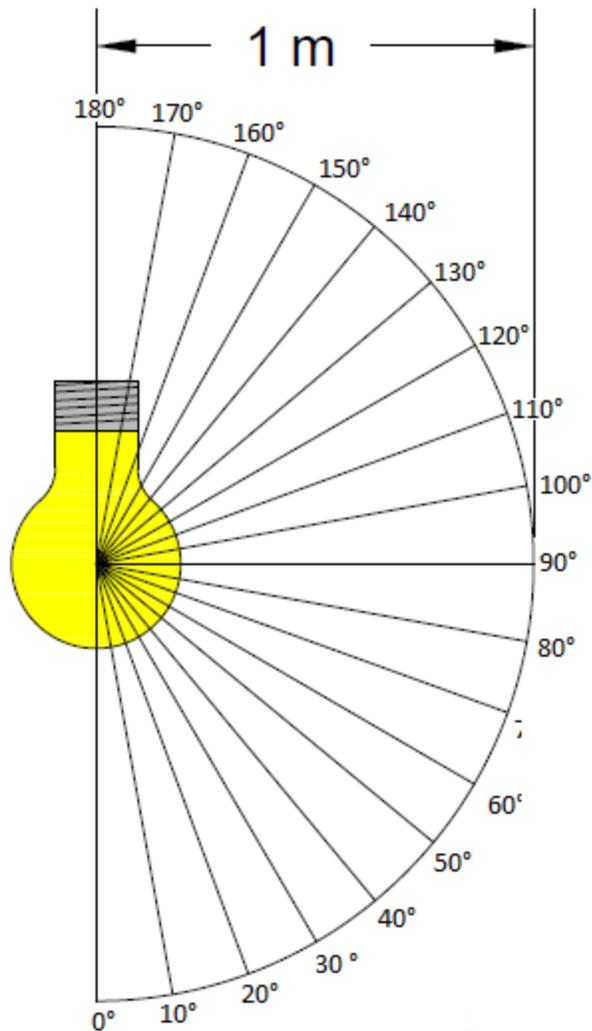


Figura 6.3

3. Preparar el luxómetro para la toma de mediciones.
4. Encender la fuente de luz y tomar la primera medición en 0° a una distancia de 1m.
5. Continuar con la toma de mediciones haciendo girar la luminaria hasta los 180° , colocando los resultados en la tabla

Grados	E (lx)	I (cd)
0°	<u>31</u>	<u>31</u>
10°	<u>30.7</u>	<u>30.7</u>
20°	<u>30.5</u>	<u>30.5</u>
30°	<u>27.5</u>	<u>27.5</u>
40°	<u>32.5</u>	<u>32.5</u>
50°	<u>35.5</u>	<u>35.5</u>
60°	<u>35.2</u>	<u>35.2</u>
70°	<u>36</u>	<u>36</u>
80°	<u>35.5</u>	<u>35.5</u>
90°	<u>38.2</u>	<u>38.2</u>
100°	<u>33.7</u>	<u>33.7</u>
110°	<u>32.5</u>	<u>32.5</u>
120°	<u>29.5</u>	<u>29.5</u>
130°	<u>28.5</u>	<u>28.5</u>
140°	<u>27</u>	<u>27</u>
150°	<u>23</u>	<u>23</u>
160°	<u>20.5</u>	<u>20.5</u>
170°	<u>17.5</u>	<u>17.5</u>
180°	<u>12.5</u>	<u>12.5</u>

Tabla 6.2

6. Calcular la intensidad usando la siguiente formula.

$$I = Ed^2$$

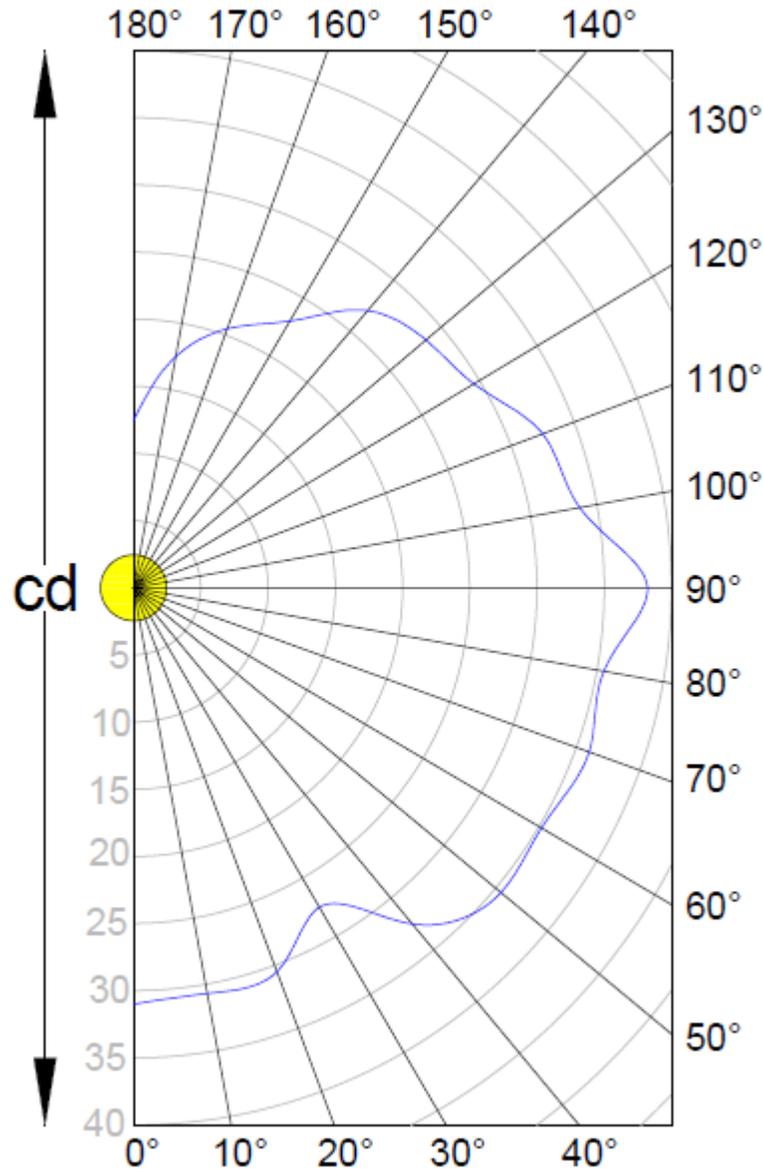
Donde:

I = Intensidad luminosa (cd)

E = Iluminación (lx)

d = Distancia de la fuente a la superficie (m)

7. Para realizar la curva fotométrica debemos colocar en el siguiente formato los datos de la tabla 6.1, de acuerdo a los grados y la intensidad luminosa, de esta forma obtendremos la curva fotométrica para nuestra fuente de iluminación.



CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es la utilidad de la curva fotométrica?

R: La curva fotométrica nos sirve para conocer la intensidad luminosa de una fuente de luz en cualquier dirección.

2. ¿Qué es un sólido fotométrico?

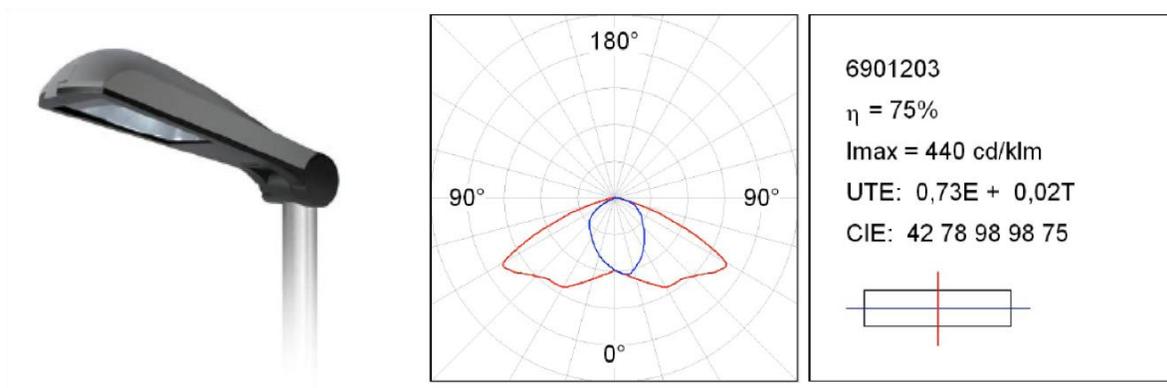
R: Es la representación tridimensional de una curva fotométrica.

3. ¿Cuándo se dice que una curva polar es simétrica?

R: Cuando la distribución luminosa es la misma en todos los planos verticales y es representada solo por una curva.

4. Menciona un ejemplo de una luminaria la cual no tenga una curva polar simétrica.

R: Las lámpara de alumbrado público.



5. ¿Qué es un fotogoniómetro?

R: Un fotogoniómetro, es un montaje de laboratorio en el cual se realizan pruebas normalizadas a todo tipo de luminarias como las utilizadas en alumbrado público, de interiores, ornamentales, etc. Con esta información es posible obtener diagramas como el isocandela e isolux, así como también la matriz de distribución de intensidades luminosas y en general, diagramas polares de intensidad en diferentes planos.

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

El conocimiento de la curva fotométrica de una lámpara al estar realizando un diseño de iluminación es muy importante, principalmente en las lámparas de alumbrado público, ya que gracias a las curvas fotométricas podemos optimizar nuestro diseño, iluminando solo el área de nuestro interés y de esta forma también podemos evitar la contaminación lumínica.

CAPITULO VII

PRÁCTICA 4 “MÉTODO DE LOS NUEVE PUNTOS”

OBJETIVOS

El alumno aprenderá a utilizar el método de los nueve puntos para el cálculo de iluminación.

INTRODUCCIÓN

Métodos numéricos

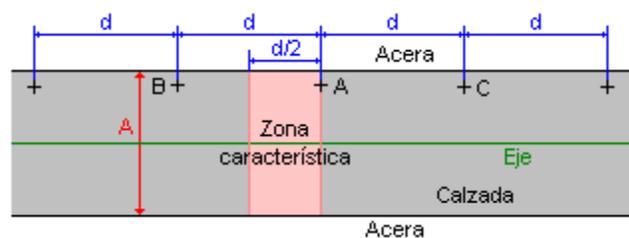
Los métodos numéricos se basan en la idea de que no es preciso calcular la iluminancia en todos los puntos de la calzada para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos llamados nodos. Para ello, dividiremos la zona a estudiar en pequeñas parcelas llamadas dominios, cada una con su correspondiente nodo, en las cuales supondremos la iluminancia uniforme. La iluminancia total de la calzada se calculará como una media ponderada de las iluminancias de cada dominio

El número de particiones que hagamos dependerá de la precisión que queramos obtener. En nuestro caso trabajaremos con el criterio de los nueve puntos que es el más sencillo, aunque la mecánica de trabajo es la misma siempre independientemente del número de dominios que tengamos.

Los métodos numéricos son herramientas de cálculo muy potentes pero que requieren mucho tiempo para su ejecución.

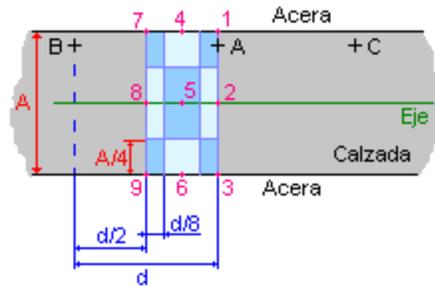
Método de los nueve puntos

Supongamos un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas una distancia d .



Debido a las simetrías existentes en la figura, bastará con calcular las iluminancias en la zona señalada. En el resto de la calzada estos valores se irán repitiendo periódicamente.

Para hacer los cálculos, la zona se divide en nueve dominios con otros tantos puntos.



Distribución de puntos en una disposición unilateral

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

$$E_m = \frac{E_1 \cdot S_1 + E_2 \cdot S_2 + \dots + E_9 \cdot S_9}{S_1 + S_2 + \dots + S_9} = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i}$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

Con:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{32} = S_1$$

$$S_2 = S_8 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

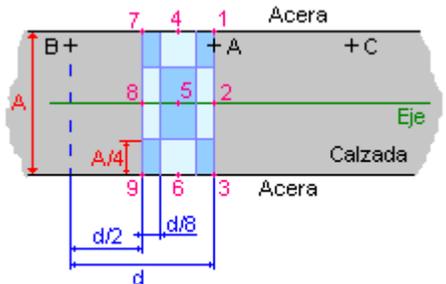
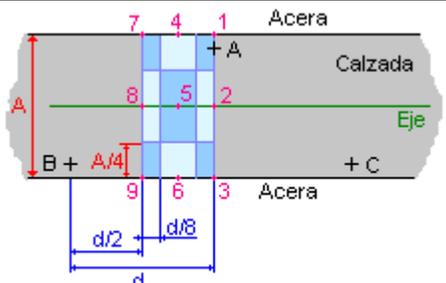
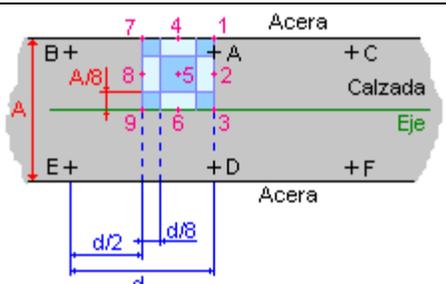
$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{8} = 4S_1$$

Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de E_m es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

Para calcular las iluminancias sobre cada nodo sólo consideraremos la contribución de las luminarias más próximas despreciándose el resto por tener una influencia pequeña.

La iluminancia en cada punto vale entonces:

$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$

$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$	
 <p>Distribución de puntos en una disposición unilateral</p>	$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$
 <p>Distribución de puntos en una disposición tresbolillo</p>	$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$
 <p>Distribución de puntos en una disposición bilateral</p>	$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} + E_{iD} + E_{iE} + E_{iF}$

Además de E_m podemos calcular los coeficientes de uniformidad media y extrema de las iluminancias

Uniformidad media = E_{\min} / E_m

Uniformidad extrema = E_{\min} / E_{\max}

Para calcular las iluminancias podemos proceder de dos maneras:

En primer lugar podemos calcularlas usando la fórmula:

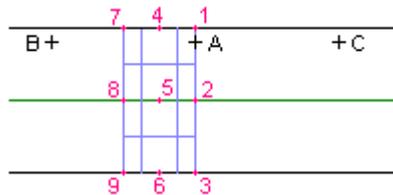
$$E_i = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot \cos^3 \gamma_i$$

Donde I se puede obtener de los gráficos polares o de la matriz de intensidades.

La otra posibilidad es recurrir a un método gráfico. En él, los valores de las iluminancias se obtienen por lectura directa de las curvas isolux. Para ello necesitaremos:

1. Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)
2. La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.
3. Una tabla para apuntar los valores leídos.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada.



A continuación se superpone sucesivamente la curva isolux sobre el plano de manera que su origen quede situado sobre la luminaria y los ejes estén correctamente orientados (0-180° paralelo al eje de la calzada y 90°-270° perpendicular al mismo). Se leen los valores de la luminancia en cada punto y se apuntan en la tabla. A continuación se suman los valores relativos para cada punto y se calculan los valores reales. Finalmente calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad media y extrema.

MATERIAL Y EQUIPO

- Luxómetro digital.
- Área de trabajo.
- Fuente de luz

DESARROLLO

1.- Para realizar el mínimo número de medidas, se debe de llevar a cabo unas divisiones del plano por iluminar, tal que éstas sean lo más representativas posible, aplicando divisiones por simetrías. El lugar recomendado para realizar esta práctica es el pasillo. Dada la homogeneidad del mismo es fácilmente divisible en partes pequeñas e iguales. Por lo tanto, se procede a la división, por simetría, hasta alcanzar la parte representativa más pequeña posible y en ella se aplica el siguiente método de medición (ver figuras 7.1 y 7.2):

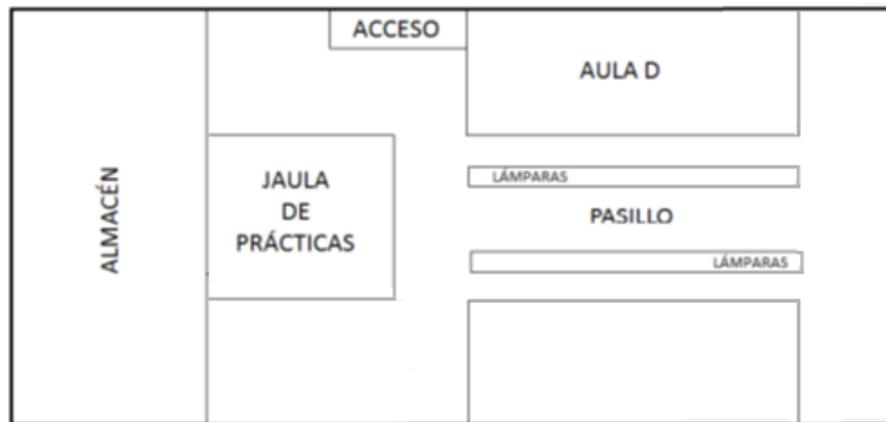


Figura 7.1

2.- Se distribuyen 9 puntos, dentro de la parte seleccionada, según la figura 7.2.

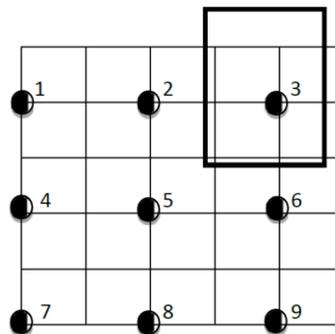


Figura 7.2

3.- Los valores de iluminancia se deben tomar sin que haya tránsito de personas o cosas que interfieran en la medición.

$$E_1 = \underline{122} \text{ lx}$$

$$E_2 = \underline{208} \text{ lx}$$

$$E_3 = \underline{112} \text{ lx}$$

$$E_4 = \underline{101} \text{ lx}$$

$$E_5 = \underline{275} \text{ lx}$$

$$E_6 = \underline{123} \text{ lx}$$

$$E_7 = \underline{107} \text{ lx}$$

$$E_8 = \underline{244} \text{ lx}$$

$$E_9 = \underline{105} \text{ lx}$$

4.- El cálculo de la iluminancia media se obtiene aplicando la siguiente expresión a los valores obtenidos:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

$$E_m = \frac{122 + 2(208) + (112) + 2(101) + 4(275) + 2(123) + 107 + 2(244) + 105}{16}$$

$$E_m = 181.75 \text{ lx}$$

5.- Calcular la uniformidad media y la uniformidad extrema utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\text{uniformidad media} = \frac{E_{min}}{E_m}$$

$$\text{uniformidad media} = \frac{101}{181.75} = .5557$$

$$\text{uniformidad extrema} = \frac{E_{min}}{E_{max}}$$

$$\text{uniformidad extrema} = \frac{101}{275} = .3672$$

CUESTIONARIO

1. ¿Por qué son nueve puntos?

R: Porque no es necesario calcular la iluminancia en todos los puntos del lugar para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos.

2. ¿Qué indican los coeficientes de uniformidad?

R: Estos coeficientes nos indican que tanto varia la iluminación si los coeficientes de uniformidad fuesen igual a 1 la iluminación es uniforme y no varía en ningún punto.

3. ¿Consideras que la iluminación es la adecuada?

R: Si por que la iluminación de un pasillo debe de ser mínimo de 100 lx y la iluminación media es de 181.75 lx

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

El método de los nueve puntos es muy práctico y fácil de realizar, no es necesario tomar muchas mediciones, porque solo se deben de tomar las mediciones en los puntos característicos, de esta forma podemos conocer la iluminación media de una forma bastante sencilla y al ser solo nueve puntos los cálculos tampoco son muy complicados, por estas razones este método es muy utilizado para conocer la iluminación media de un lugar.

CAPITULO VIII

PRÁCTICA 5 “CÁLCULO SEGÚN EL MÉTODO PUNTO POR PUNTO”

OBJETIVO

- El alumno comprobara el nivel luminoso en puntos concretos, con la utilización del método de cálculo de iluminación conocido como el método del punto por punto.

INTRODUCCIÓN

Los elementos básicos que forman parte de un sistema de iluminación son:

1. La fuente de luz o tipo de lámpara utilizada: incandescente, fluorescente, etc.
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 conocidos estos elementos se puede comenzar el cálculo para saber si el nivel de iluminación es adecuado o no en un determinado espacio.

Para realizar el proceso de cálculo de iluminación general en instalaciones interiores, se pueden utilizar dos métodos:

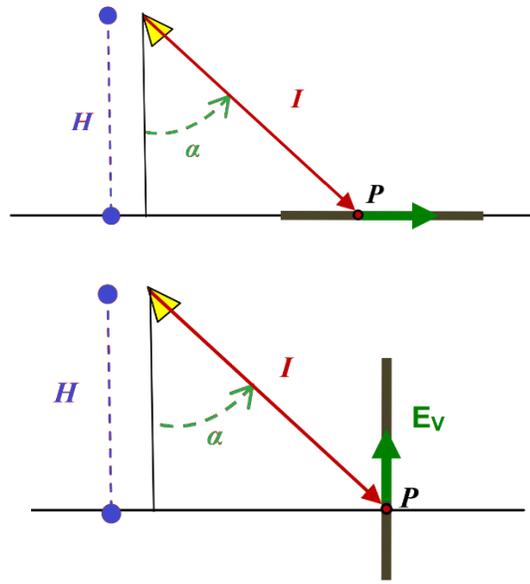
1. Método de los Lúmenes, también denominado, Sistema General o Método del Factor de utilización, El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Proporciona una iluminancia media con un error de $\pm 5\%$ 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 se desea es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos.

En este caso, se va a explicar cómo aplicar el Método del punto por punto a través de un ejemplo, teniendo siempre en cuenta que se puede utilizar con fuentes de luz puntuales como las lámparas incandescentes y de descarga pero no con tubos fluorescentes.

La fórmula a emplear es la siguiente:

En el plano Horizontal

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2}$$



En el plano vertical

$$E_V = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha \cdot \sin \alpha}{H^2}$$

Donde:

E_H = nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en LUX)

E_V = nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (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).

MATERIAL

- Luxómetro Amprobe LM-200LED.
- Fuente puntual de Luz con diagrama polar.
- Mesa de trabajo.
- Flexómetro.

DESARROLLO

1. Colocar la fuente puntual de luz a una altura de 1.5m del plano de trabajo como se muestra en la figura 8.1.

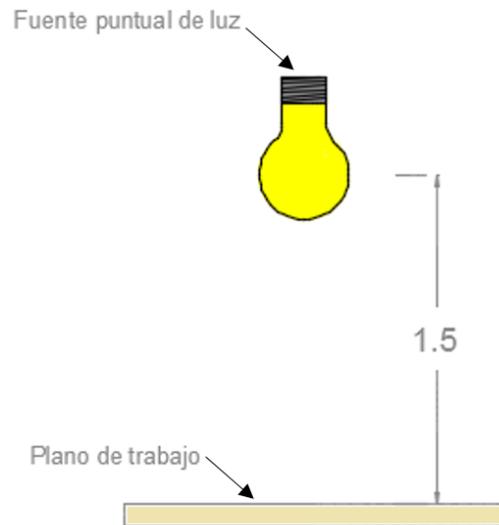
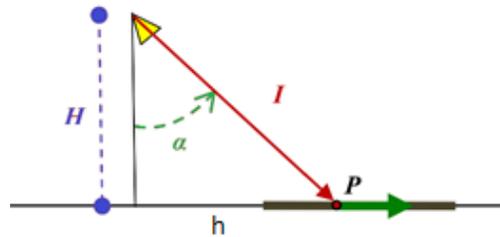


Figura 8.1

2. Selecciona 10 puntos en el plano de trabajo.
 - a) Utilizando el luxómetro medir la iluminación real (E_R) en cada punto y anotar los valores obtenidos en la tabla 1.
 - b) Con ayuda del flexómetro tomar las medidas de h y colocar las medidas en la tabla 1.



- c) Utilizando la siguiente fórmula calcula el ángulo α utilizando los datos previamente obtenidos, anota tus resultados en la tabla 1.

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{H}$$

- d) Con ayuda del diagrama polar de la fuente de luz obtener la intensidad para los distintos ángulos.

- e) Con los datos anteriores calcular la iluminación teórica (E_T) para cada punto utilizando la siguiente formula y anotar tus resultados obtenidos en la tabla 1.

$$E_T = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{H^2}$$

Punto	E_R (Lx)	h (m)	α	I (cd)	E_T (Lx)
1	14.2	0	0°	31	13.77
2	13.3	.25	9.46°	30.5	13.01
3	12.4	.5	18.43°	30.6	11.61
4	9.8	.75	26.56°	27	8.6
5	8.3	1	33.7°	27.5	7.03
6	7.1	1.25	39.8°	32.5	6.55
7	5.8	1.5	45°	35	5.49
8	4.6	1.75	49.4°	35.5	4.34
9	3.7	2	53.13°	36	3.46
10	2.9	2.25	56.31°	35.4	2.68

Tabla 8.1

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las ventajas de calcular la iluminación utilizando el método punto por punto?

R: La ventaja de utilizar este método es que es un método muy práctico, ya que los cálculos son muy sencillos de realizar y te da una buena precisión cuando solo requieres calcular la iluminación en un punto específico.

2. ¿La iluminación real es igual a la calculada? ¿por qué?

R: No, porque, intervienen muchos factores al tomar la medición.

3. ¿Qué es la luz dirigida?

R: La luz dirigida emana de fuentes de luz puntuales: el sol en el caso de la luz diurna, lámparas de construcción compacta en el área de la luz artificial. La propiedad más importante de la luz dirigida es la creación de sombras sobre cuerpos y superficies estructuradas, así como de reflejos sobre objetos brillantes.

4. ¿Qué es una fuente de iluminación difusa?

R: La luz difusa emana de grandes superficies luminosas. Éstas pueden ser amplias fuentes de luz como techos luminosos en el área de la luz artificial. No obstante, la luz difusa también se refleja, y esto es más frecuente en espacios interiores, en techos y paredes iluminados. De este modo se crea una iluminación uniforme y suave, que da luminosidad y claridad a todo el espacio, pero prácticamente no origina sombras o reflejos.

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

El método de iluminación punto por punto es muy sencillo de aplicar y te da una buena precisión, pero solo se puede utilizar en casos muy específicos, donde se tenga una fuente de iluminación puntual y solo se requiera calcular la iluminación en un solo punto, esto hace que este método no se utilice mucho.

CAPITULO IX

PRÁCTICA 6 “MÉTODO LUMEN”

OBJETIVOS

- El alumno obtendrá la iluminación promedio del laboratorio utilizando el método de lumen.
- Aprenderá a utilizar el método de lumen para realizar diseños de iluminación.

INTRODUCCIÓN

La finalidad del método de lumen es calcular el valor medio en servicio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general. Es muy práctico y fácil de usar, y por ello se utiliza mucho en la iluminación de interiores.

Se necesitan conocer las dimensiones del local y la altura del plano de trabajo (la altura del suelo a la superficie de la mesa de trabajo). Estos son datos físicos obtenidos de mediciones del local o de planos.

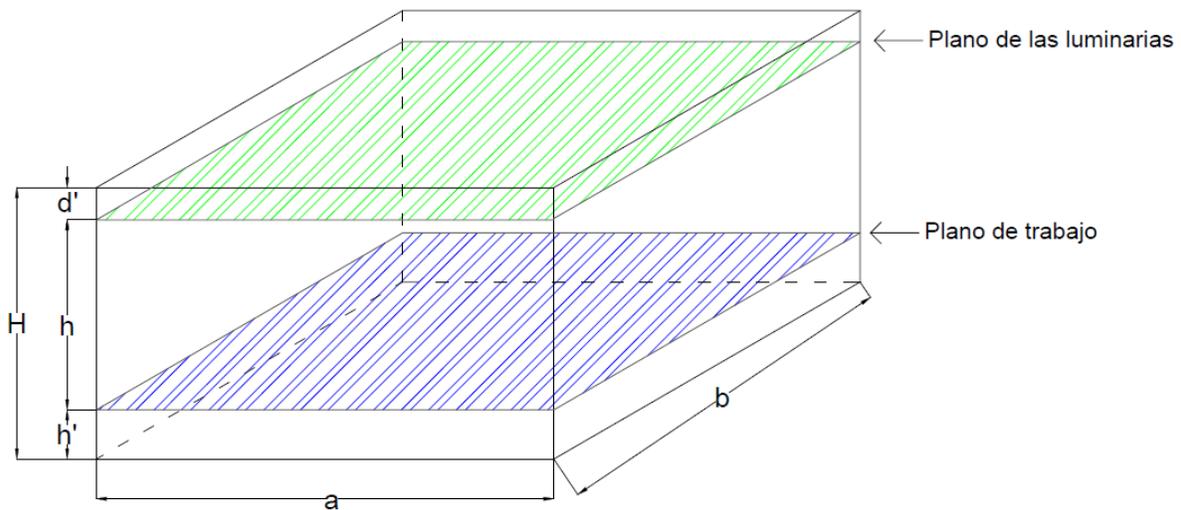


Figura 9.1

a = ancho del local (m)

b = largo del local (m)

H = altura del local (m)

h = distancia entre el plano de luminarias y el plano de trabajo (m)

d' = altura entre el plano de las luminarias y el techo (m).

h' = altura del plano de trabajo al suelo (m).

Se determina el nivel de iluminancia media (E_m). Este valor depende del tipo de actividad a realizar en el local y podemos encontrarlos tabulados.

Para distribución con luz directa, semidirecta, general difusa y directa - indirecta el índice del local se calcula con la siguiente expresión:

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

Para distribuciones con luz semi-indirecta e indirecta el índice del local se calcula con la siguiente expresión:

$$K = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2h(a + b)}$$

La fórmula básica para el cálculo del flujo luminoso total para iluminar un local, es la siguiente:

$$\Phi = \frac{E \cdot S}{\mu \cdot m}$$

m = Factor de mantenimiento.

Para conocer el número de luminarias requerido, se utiliza la siguiente formula:

$$N_L = \frac{\Phi}{\Phi_L}$$

N_L = Numero de luminarias

Φ_L = Flujo luminoso que produce cada lámpara

MATERIAL

- Luxómetro Amprobe LM-200LED
- Mesas de trabajo

DESARROLLO

1.- Posicionar las lecturas del luxómetro en la escala de 2000 lx y ubicarlo en 24 puntos distribuidos geoméricamente en la superficie de las tres mesas de trabajo del laboratorio. Tomar las lecturas arrojadas por el luxómetro y registrarlas en la tabla 9.1.

Lecturas	E (lux)
1	<u>630</u>
2	<u>695</u>
3	<u>724</u>
4	<u>695</u>
5	<u>713</u>
6	<u>668</u>
7	<u>707</u>
8	<u>730</u>
9	<u>613</u>
10	<u>508</u>
11	<u>688</u>
12	<u>618</u>
13	<u>647</u>
14	<u>510</u>
15	<u>608</u>
16	<u>476</u>
17	<u>331</u>
18	<u>543</u>
19	<u>690</u>
20	<u>552</u>
21	<u>643</u>
22	<u>593</u>
23	<u>442</u>
24	<u>295</u>

Tabla 9.3

a) Calcular la media y la desviación estándar para evaluar el nivel de iluminación del lugar de trabajo.

$$\text{Valor medio: } x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\text{Desviación estándar: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - x_i)^2}{n-1}}$$

Dónde: x es el valor medio de las mediciones

x_i es el valor i de las mediciones

n es el número de mediciones

σ es la desviación estándar de las mediciones

Calculando el valor medio

$$x = \frac{630 + 695 + 724 + 695 + 713 + 668 + 707 + 730 + 613 + 508 + 688 + 618 + 647 + 510 + 608 + 477 + 331 + 543 + 690 + 552 + 643 + 593 + 442 + 295}{24}$$

$$x = 596.62 \text{ lx}$$

Calculando la desviación estándar

$$\sigma = \sqrt{\frac{(630 - 596.62)^2 + (695 - 596.62)^2 + (724 - 596.62)^2 + (695 - 596.62)^2 + (713 - 596.62)^2 + (668 - 596.62)^2 + (707 - 596.62)^2 + (730 - 596.62)^2 + (613 - 596.62)^2 + (508 - 596.62)^2 + (688 - 596.62)^2 + (618 - 596.62)^2 + (647 - 596.62)^2 + (510 - 596.62)^2 + (608 - 596.62)^2 + (477 - 596.62)^2 + (331 - 596.62)^2 + (543 - 596.62)^2 + (690 - 596.62)^2 + (552 - 596.62)^2 + (643 - 596.62)^2 + (593 - 596.62)^2 + (442 - 596.62)^2 + (295 - 596.62)^2}{24 - 1}}$$

$$\sigma = 129.61$$

b) Si la desviación estándar es menor al 5% de la media de las mediciones, se puede utilizar este valor como medida de iluminación promedio del lugar de trabajo.

Valor medio: 596.62

Desviación estándar: 129.61

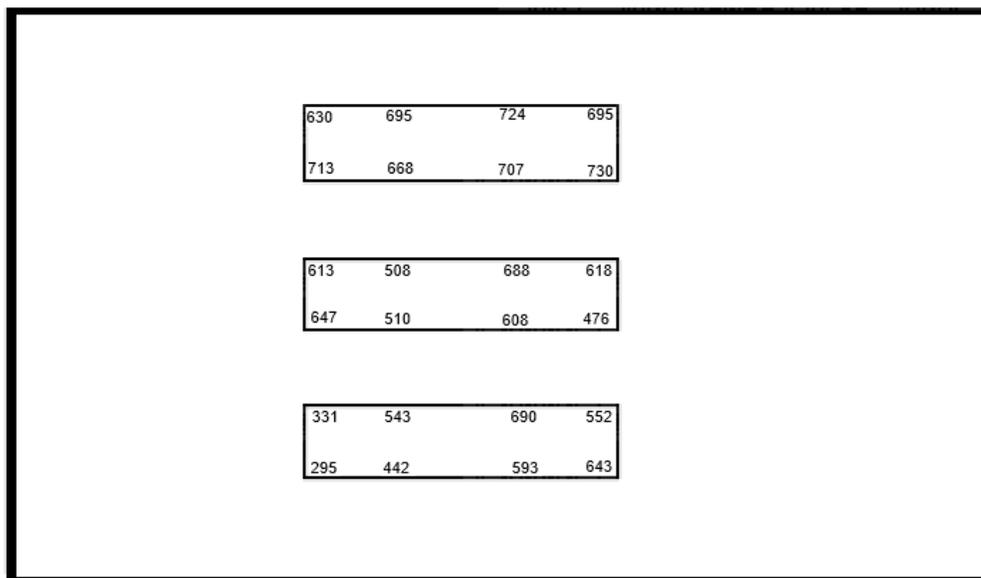
5% del valor medio: 29.83

Cumple: No

2.- Establecer las características de las fuentes de luz, lugar de trabajo y luminarias.

a)	Dimensiones del local.	<u>7.95 x 5.54</u>
b)	Número de lámparas y luminarias.	<u>6 luminarias 2 lámparas/luminaria</u>
c)	Estado de conservación de las lámparas (nivel de mantenimiento).	<u>Regular</u>
d)	Estado de conservación del local (nivel de mantenimiento).	<u>Buena</u>
e)	Color de piso y reflectancia aprox.	<u>30%</u>
f)	Color de techo y reflectancia aprox.	<u>70%</u>
g)	Color de paredes y reflectancia aprox.	<u>50%</u>
h)	Actividad del local.	<u>Docencia laboratorio</u>
i)	Nivel de iluminación normalizado.	<u>500 lx</u>
j)	Condiciones del clima.	<u>Despejado</u>

3.- Realizar un bosquejo del área de trabajo mostrando la ubicación de las mesas de trabajo y los puntos donde se realizaron las mediciones.



4.- Determinar el número de personas expuestas al nivel de iluminación medido: 8

5.- Dependiendo de la clasificación y cumplimiento de la iluminación obtenida, propone recomendaciones para el laboratorio con base en los conocimientos aprendidos.

En general la iluminación del laboratorio es la correcta por que el valor medio supera los 500 lx que marca la norma, la única recomendación para el laboratorio es mejorar el nivel de mantenimiento de las lámparas.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué factores influyen sobre el flujo luminoso que llega a la superficie?

R: Suciedad, dimensiones, envejecimiento, reflectancia y eficiencia de la lámpara.

2. ¿Cuáles son los dos factores que afectan el flujo total producido por un sistema de iluminación?

R: Factor de utilización y factor de mantenimiento.

3. ¿El laboratorio cumple con la iluminación adecuada?

R: Si porque su valor medio supera los 500 lx establecidos por la norma.

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

El método de lumen es muy utilizado para realizar cálculos de iluminación, este método toma en cuenta varios factores que son muy importantes para el cálculo de iluminación como son la suciedad, dimensiones, envejecimiento, reflectancia y eficacia de la lámpara, con esto podemos estar seguros de que nuestro diseño cumplirá con la iluminación requerida de acuerdo con las normas, el laboratorio cumple con los 500 lx necesarios.

CAPITULO X

PRÁCTICA 7 “MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL”

OBJETIVO

- El alumno entenderá el método de cavidad zonal para calcular el nivel de iluminación.

INTRODUCCIÓN

El método de la cavidad zonal o cavidad de zona es un método reciente para el cálculo de alumbrado en interiores, este método, al ser desarrollado en los Estados Unidos de América, por lo general, se trabaja con el sistema de unidades inglés. Este método supone que cada cuarto o área consta de tres cavidades separadas las cuales son: cavidad de techo cavidad de piso y cavidad de cuarto. La figura 10.1, muestra estas cavidades.

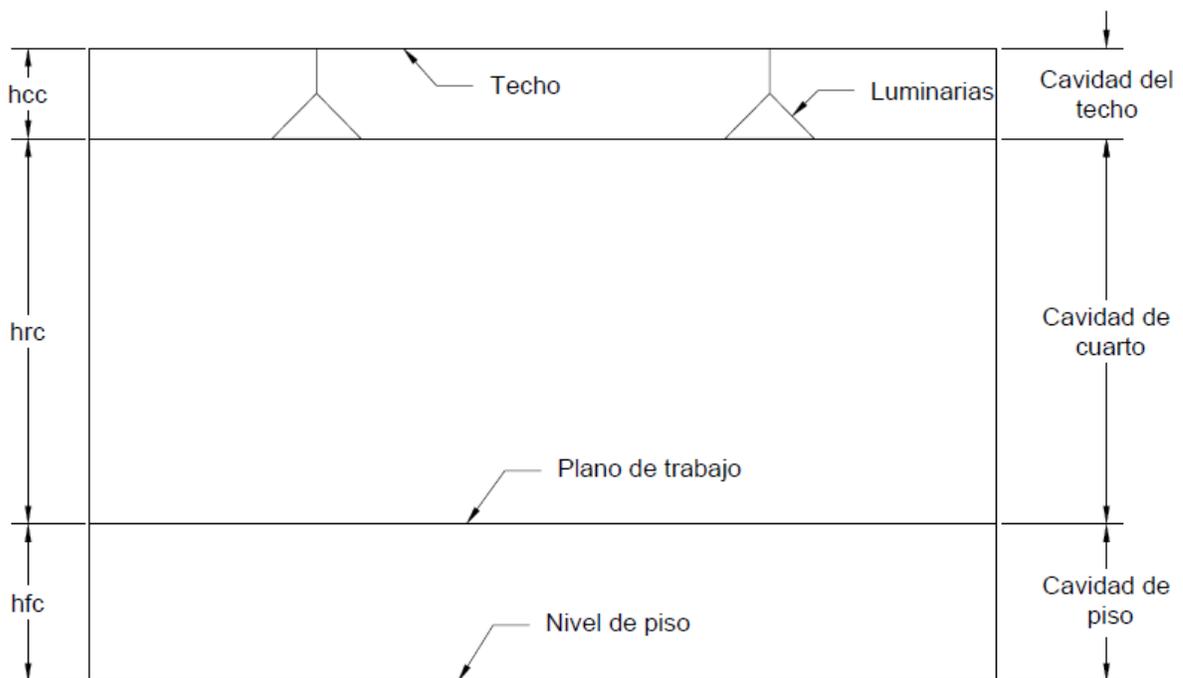


Figura 10.1

La cavidad de techo se considera desde el plano de las luminarias hasta el techo.

La cavidad de piso se considera del plano de trabajo hacia el piso.

La cavidad de cuarto es el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo.

Los lugares se clasifican a su forma por diez números de relaciones de cavidad. La fórmula para obtener la relación de cavidad de lugares rectangulares es.

$$\text{Relacion de cavidad de techo (CCR)} = \frac{5 \times \text{hcc} (\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad de cuarto (RCR)} = \frac{5 \times \text{hrc}(\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad piso (FRC)} = \frac{5 \times \text{hfc} (\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

Para lugares que se componen por dos o más rectángulos, por ejemplo en forma de L la relación de cavidad se obtiene utilizando la siguiente formula:

$$\text{Relación de cavidad} = \frac{2.5 \times \text{Área de pared}}{\text{Área de piso}}$$

En el cálculo de la relación de cavidad de techo, el área de pared se calcula multiplicando la distancia entre el plano de las luminarias y la cavidad de techo.

Reflectancia efectiva.

En la iluminación es de interés el concepto de luz reflejada total expresada en términos de reflectancia, que se define como:

$$\text{Reflectancia} = \frac{\text{Luz total reflejada}}{\text{Luz total incidente}}$$

La combinación de las reflectancia de techo y pared, así como el de piso y pared, se deben convertir en reflectancia efectivas de techo y piso. La reflectancia efectiva de las cavidades de techo y piso toman en consideración el efecto de interacción de luz entre las varias superficies del cuarto. Estos valores se dan en tablas.

Coefficiente de utilización.

El coeficiente de utilización, se define matemáticamente como el cociente entre el número de lúmenes existentes en el plano de trabajo y el número total de lúmenes producidos por la lámpara.

$$\text{Coeficiente de utilización (C. U.)} = \frac{\text{Lumenes en el plano de trabajo}}{\text{Lumenes de la lámpara}}$$

El coeficiente de utilización es un dato que proporcionan los fabricantes para cada tipo de lámpara.

Cuando la reflectancia efectiva de la cavidad de piso es 18, 19, 21 ó 22%, se puede hacer uso directo de las tablas de los coeficientes de utilización; sin embargo, si la reflectancia efectiva de piso es 17% o menor, o bien 23% o superior es necesario hacer un ajuste.

Factor de mantenimiento.

El factor de mantenimiento toma en cuenta la reducción de luz ocasionada por la suciedad y envejecimiento de las lámparas, este factor se puede estimar en función de la información que proporciona el fabricante (categoría de la luminaria) y tomando en consideración, la suciedad que genera las actividades y cada cuando se realiza limpieza, teniendo estos datos podemos ubicarnos en la curva de la categoría de la luminaria para determinar el factor de mantenimiento.

Numero requerido de luminarias.

El número de luminarias según el método de cavidad zonal se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$NL = \frac{AP \times DF}{LPL \times LPL \times U \times M}$$

Donde:

NL = Número de luminarias.

AP = Área del piso del local o cuarto por iluminar.

DF = Nivel de iluminación deseado.

LPL = Número de lámparas por luminaria.

LPL = Lumen por lámpara.

U = Coeficiente de utilización.

M = Factor de mantenimiento.

Arreglo y disposición de luminarias.

Para obtener una iluminación uniforme es necesario distribuir de una manera adecuada las luminarias, tomando en cuenta las dimensiones del local y los aspectos arquitectónicos. Es necesario considerar la máxima separación entre luminarias, dato proporcionado por los fabricantes, para evitar tener zonas de penumbra.

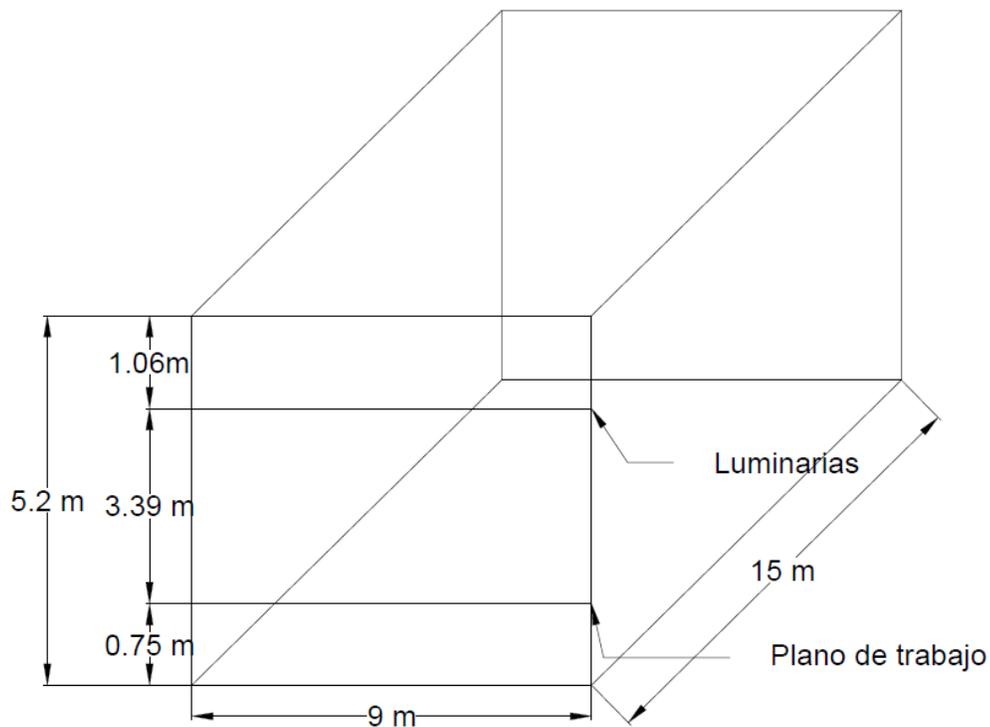
INSTRUMENTOS Y EQUIPO

(Ninguno)

DESARROLLO

1. Realizar el diseño de iluminación para una oficina donde se desarrollará trabajo de mecanografía, que tiene 9 metros de ancho por 15 metros de largo. La luminaria seleccionada estará montada en un plafón acústico. El área de trabajo estará a 0.75 m de altura y las luminarias cuelgan del techo a la misma altura del plafón que es de 1.06 m del techo. La distancia total del piso al techo es de 5.20 m, el nivel de limpieza se puede considerar mediano y se realizan tareas de mantenimiento cada 33 meses

- a) Dibuja un esquema del lugar.



- b) Selecciona una luminaria adecuada y coloca las especificaciones que proporciona el fabricante, también pon las características de las lámparas a utilizar.

LUMINARIA	DISTRIBUCIÓN	SEPARACIÓN	COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN											
			CAVIDAD DE TECHO	REFLECTANCIA										
				80%			50%			10%			0%	
			50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%		
CATEGORÍA 5  4 TUBOS POR LUMINARIA	 2 1 5 1	1.2 X ALTURA DE MONTAJE	1	0.56	0.54	0.52	0.52	0.50	0.49	0.47	0.46	0.45	0.44	
			2	0.50	0.47	0.45	0.47	0.44	0.42	0.43	0.41	0.40	0.39	0.39
			3	0.45	0.41	0.38	0.42	0.39	0.37	0.39	0.37	0.35	0.34	0.34
			4	0.41	0.37	0.34	0.38	0.35	0.32	0.35	0.33	0.31	0.30	0.30
			5	0.37	0.32	0.29	0.34	0.31	0.28	0.32	0.29	0.27	0.26	0.26
			6	0.33	0.29	0.26	0.31	0.28	0.25	0.29	0.27	0.24	0.23	0.23
			7	0.30	0.26	0.23	0.29	0.25	0.22	0.27	0.24	0.22	0.20	0.20
			8	0.27	0.23	0.20	0.26	0.22	0.20	0.24	0.21	0.19	0.18	0.18
			9	0.25	0.20	0.18	0.23	0.20	0.17	0.22	0.19	0.17	0.16	0.16
			10	0.22	0.18	0.16	0.21	0.18	0.15	0.20	0.17	0.15	0.14	0.14

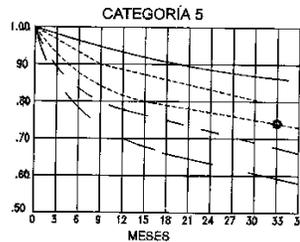
La luminaria contara con 4 lámparas de tubos led de 3000Lm y 27 W.

- c) Considerando la norma oficial mexicana, selecciona la iluminación mínima que deberá tener el proyecto.

Como se realizaran trabajos de mecanografía (captura y procesamiento de información) la iluminación mínima deberá de ser de 500lx.

- d) Indicar el factor de mantenimiento.

La luminaria es categoría 5, se realizan tareas de mantenimiento cada 33 meses y el nivel de limpieza se considera mediano, por lo tanto, de acuerdo a las curvas que muestran los factores de depreciación por suciedad, se determina un factor de mantenimiento de 0.75.



- e) Obtén las relaciones de cavidad.

$$\text{Relacion de cavidad de techo (CCR)} = \frac{5 \times hcc (\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad de techo (CCR)} = \frac{5 \times 1.06 (15 + 9)}{15 \times 9} = 0.94$$

$$\text{Relacion de cavidad de cuarto (RCR)} = \frac{5 \times \text{hrc}(\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad de cuarto (RCR)} = \frac{5 \times 3.39(15 + 9)}{15 \times 9} = 3.01$$

$$\text{Relacion de cavidad piso (FRC)} = \frac{5 \times \text{hfc}(\text{longitud} + \text{ancho})}{\text{Longitud} \times \text{ancho}}$$

$$\text{Relacion de cavidad piso (FRC)} = \frac{5 \times .75(15 + 9)}{15 \times 9} = 0.66$$

f) Deducir la reflectancia efectiva del techo.

Los plafones acústicos normalmente tienen un valor de reflectancia alto, así que se puede usar un 80%, y suponiendo paredes de color claro se puede considerar un 30%.

g) Determinar el coeficiente de utilización.

Desacuerdo a la tabla de coeficiente de utilización de la luminaria, la reflectancia del 80% y 30% y la relación de cavidad de techo 1, le corresponde un coeficiente de utilización de 0.54.

$$CU = 0.54$$

h) Determinar el número de luminarias requerido para el proyecto.

$$NL = \frac{AP \times DF}{LPF \times LPL \times U \times M}$$

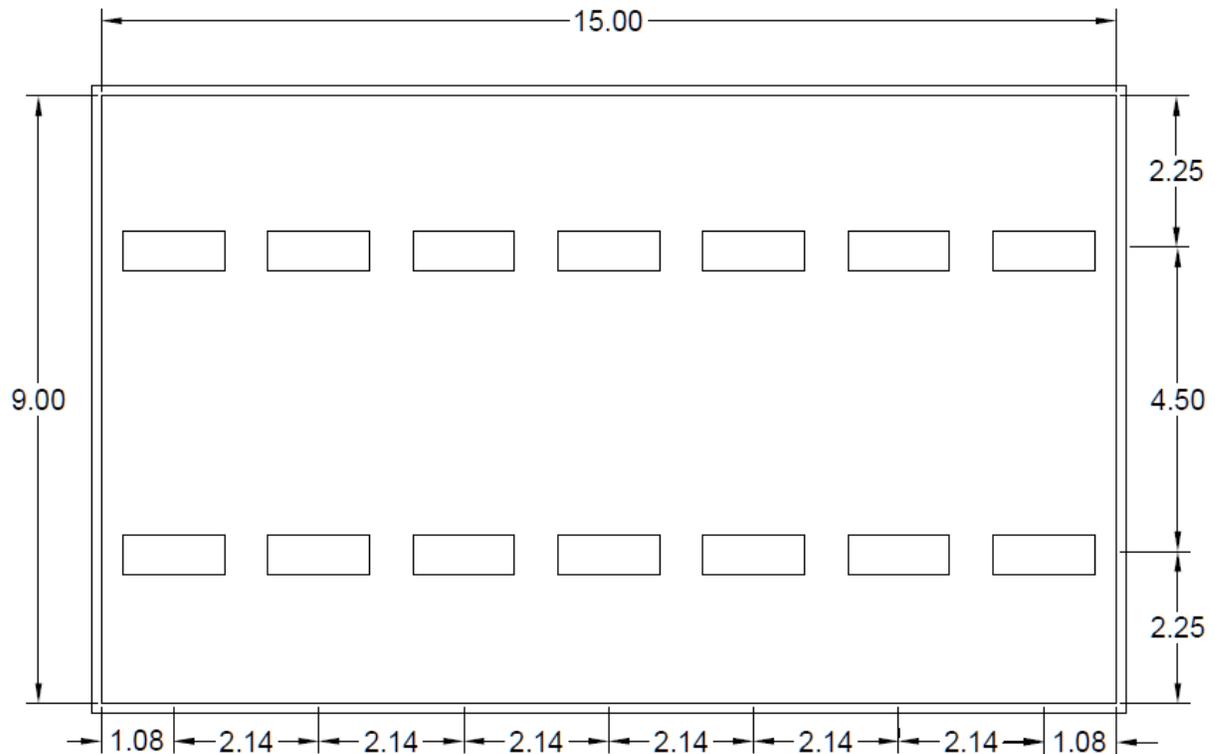
$$NL = \frac{9 \times 15 \times 500lx}{3000lm \times 4 \times .54 \times .75} = 13.88$$

Se consideran 14 luminarias por razones de simetría.

i) Dibujar una distribución adecuada para las luminarias.

Para poder seleccionar una distribución adecuada primero debemos calcular la separación máxima entre las luminarias.

$$\text{Separación} = 1.2 \times \text{Altura de montaje} = 1.2 \times 4.14 = 4.968 \text{ m}$$



Como podemos observar esta distribución cumple con la separación máxima entre las luminarias.

CUESTIONARIO

1. ¿Cuáles son las ventajas de calcular la iluminación utilizando el método punto por punto?

R: Es un método muy práctico, se puede utilizar en cualquier tipo de lugar y ofrece una buena precisión.

2. ¿Por qué se llama método de cavidad zonal?

R: Porque el método consiste en dividir el lugar en 3 zonas que son cavidad de piso, cavidad de cuarto y cavidad de techo.

3. ¿Qué cambiaría del método si se requiere calcular la iluminación en un edificio formado por dos o más rectángulos?

Para lugares que se componen por dos o más rectángulos, por ejemplo en forma de L la relación de cavidad se obtiene utilizando la siguiente formula:

$$\text{Relación de cavidad} = \frac{2.5 \times \text{Área de pared}}{\text{Área de piso}}$$

En el cálculo de la relación de cavidad de techo, el área de pared se calcula multiplicando la distancia entre el plano de las luminarias y la cavidad de techo.

CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA

El método de cavidad zonal, es muy útil para realizar un diseño de iluminación, cuenta con una gran flexibilidad, porque permite ser utilizado en problemas donde varia la altura de la luminaria y del plano de trabajo, también es posible utilizarlo con distintas reflectancia de pared sobre y bajo el plano de trabajo y por arriba del plano de las luminarias, también se debe de tener en cuenta, que solo funciona con lugares con forma rectangular o formados por dos o más rectángulos. En general este método es muy completo y uno de los mejores métodos para realizar el diseño de iluminación.

CONCLUSIONES

La iluminación es muy importante para realizar nuestras tareas cotidianas y muchas veces no se le da la importancia necesaria para obtener un óptimo nivel de iluminación, un deficiente nivel de iluminación nos puede ocasionar muchos problemas que pueden ser desde un accidente, hasta una enfermedad de la vista.

Se diseñaron prácticas de iluminación con la finalidad de comprender mejor los conceptos de iluminación y aprender a utilizar las herramientas e instrumentos de medición como el luxómetro. Los temas de las prácticas fueron seleccionados por ser los más apropiados e importantes para entender los conceptos de iluminación y por ser los métodos más comunes para el cálculo de la iluminación en proyectos reales.

La metodología realizada para el desarrollo de estas prácticas fue la misma que se utiliza en los demás laboratorios de ingeniería para facilitar su entendimiento y desarrollo de las mismas.

Trabajo a futuro.

Es importante continuar con el desarrollo de más prácticas y mejorar las que se tienen ya que la tecnología siempre va avanzando y las prácticas se tendrán que ir adecuando al equipo que se tenga en el laboratorio de iluminación.

El módulo de iluminación es relativamente nuevo en el programa de estudios de la carrera de ingeniería mecánica eléctrica. La parte experimental del módulo de iluminación está en crecimiento y las prácticas que se presentan en este trabajo profesional, refuerzan y comprueban los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas.

El laboratorio de iluminación está en continuo crecimiento y las prácticas del módulo de iluminación seguirán produciéndose y actualizándose por los alumnos y profesores de la sección eléctrica.

Bibliografía

- Armas., P. D. (s.f.). *www.medic.ula.ve*. Obtenido de *www.medic.ula.ve*
- Fetters, J. L. (1997). *Applied illumination engineering*. Lilburn, GA: The fairmont press, INC.
- Harper, E. (2004). *El ABC del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión*. Mexico, D.F.: Limusa.
- Harper, E. (2005). *Manual práctico del alumbrado*. México, D.F.: Limusa.
- Indal. (s.f.). *issuu*. Obtenido de https://issuu.com/pablomartinezdiez/docs/00_manual_indal
- INDALUX. (2002). *Luminotecnia 2002*.
- issuu. (s.f.). *El mundo de la iluminacion*. Obtenido de <https://issuu.com/grudilec-bgp/docs/prontuario-iluminacion-1>
- Jorge Chapa Carreón, J. C. (1990). *Manual de instalaciones de alumbrado y fotometría*. México, D.F.: Limusa.
- Laszlo, C. (s.f.). *Manual de luminotecnia para interiores*. Obtenido de laszlo: http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual_de_Luminotecnia.PDF
- Mauricio, R. C. (2009). *El Arte de la Iluminación*. OURENSE, GAL: Trillas.
- Narváez, D. J. (s.f.). *www.medic.ula.ve*. Obtenido de LA MICROSCOPÍA: <http://www.medic.ula.ve/histologia/anexos/microscopweb/MONOWEB/inicio.htm>
- Paramo, R. S. (2003). *Manual de Luminotecnia*. Madrid: OSRAM.
- PHILIPS. (s.f.). <http://www.lighting.philips.com>. Obtenido de <http://www.lighting.philips.com>.
- Social, S. d. (Martes de Diciembre de 2008). *stps.gob.mx*. Obtenido de *stps.gob.mx*: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-025.pdf>
- teoriassobreelorigendelaluz*. (s.f.). Obtenido de teoriassobreelorigendelaluz.wikispaces.com