

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

"PROYECTO DE UN LABORATORIO DE ILUMINACIÓN"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A:

JUAN EZEQUIEL ALCANTAR TOLEDO

ASESOR ING. ALBINO ARTEAGA ESCAMILLA

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2012



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.

AGRADECIMIENTOS

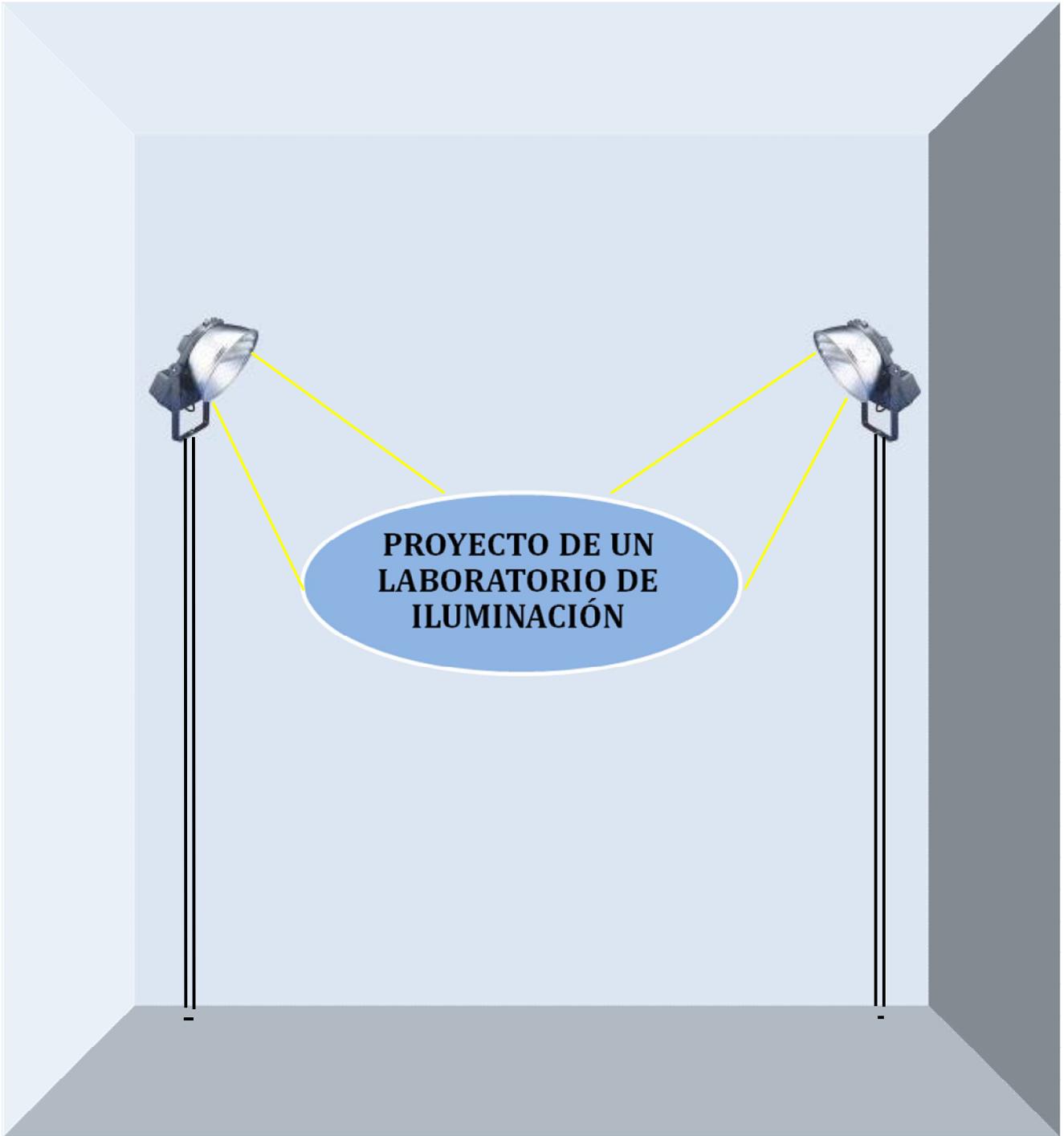
Agradezco principalmente a Dios porque me ha permitido culminar mis estudios de forma adecuada.

A mi papá Ezequiel Abraham † por su ejemplo de vida; A mi mamá Federica por apoyarme siempre, por enseñarme valores y por su filantropía; A Lety, Marco, Bola y Geiser por su apoyo. A mi esposa Nancy y a mi hijo Jan por su amor, su apoyo y las alegrías que hemos compartido juntos.

Agradezco a la Universidad por haberme dado la oportunidad de crecer profesionalmente y sobre todo personalmente; A mi asesor Ing. Albino y a todos mis maestros que me apoyaron con sus enseñanzas y actitudes hacia la vida de forma profesional.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”



ÍNDICE

PREFACIO.	6
CAPÍTULO 1. LA LUZ.	9
1.1 Luz e iluminación.	9
1.2 Características de la luz.	9
1.3 Espectro visible.	9
1.4 Color de los cuerpos.	11
1.5 Temperatura de color.	11
1.6 Tonos de color en las lámparas.	13
1.7 Índice de reproducción cromático (IRC)	14
CAPÍTULO 2. EL OJO HUMANO.	17
2.1 Acomodación.	18
2.2 Adaptación.	19
2.3 Factores que intervienen en la visión.	19
CAPÍTULO 3. INTENSIDAD LUMINOSA.	22
3.1 Flujo luminoso.	22
3.2 Iluminancia.	23
3.3 Luminancia o brillo fotométrico.	25
3.4 La Ley del Coseno.	25
3.5 Índice de rendimiento de color.	26
3.6 Control de la luz.	26
CAPÍTULO 4. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.	29
4.1 Tipos de lámparas.	29
4.2 Duración o vida de las lámparas.	45
CAPÍTULO 5. LUMINARIA.	47
5.1 Clasificación de los luminarios de acuerdo a su curva de distribución.	48
5.2 Los espejos: tipos y características principales.	48
5.3 Curvas fotométricas de distribución de la luz.	51

CAPÍTULO 6. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN.	56
6.1 Método de Lumen.	56
6.2 Cálculo del Método de Lumen.	57
6.3 Determinación del Coeficiente de Utilización (C.U.).	58
6.4 Relación de los Métodos de Cavidad Zonal e Índice de Cavidad de Cuarto.	59
6.5 Factor de pérdidas de luz o factor de mantenimiento Light Loss Factor (L.L.F.).	59
6.6 Método Punto por Punto.	60
CAPÍTULO 7. DISEÑO DEL LABORATORIO DE ILUMINACIÓN.	63
7.1 Diseño de la plataforma movable para el estudio de los luminarios.	63
7.2 Propuesta de materiales para la plataforma.	63
7.3 Cubo de lámparas.	72
7.4 Mobiliario e instrumentos.	72
7.5 Ventajas del sistema	75
CONCLUSIONES.	77
BIBLIOGRAFÍA.	78

PREFACIO

Las investigaciones científicas en torno a la obtención de la luz artificial han ido encaminadas a mejorar el ahorro energético, su eficiencia, y capacidad de reproducción cromática y su longevidad de uso.

De la primera lámpara que se comercializó, que era de tipo incandescente con filamento de carbón y una eficiencia luminosa de 2 lm/W, se ha llegado a conseguir hasta los 200 lm/W. en las últimas incorporaciones de sodio a baja presión.

La revolución tecnológica que estamos sufriendo gracias a los nuevos avances en integración de componentes electrónicos o microelectrónica, está propiciando un gran desarrollo de equipos de encendido y estabilización que permiten trabajar a las lámparas en condiciones más ventajosas.

Este trabajo de tesis, desarrolla una manera de visualizar el comportamiento de los luminarios en diferentes condiciones a través de una plataforma didáctica que ayudará, a que el alumno comprenda mejor las técnicas de iluminación; por esta razón, está dirigida a estudiantes de ingeniería e interesados en iluminación.

La obra se divide en siete capítulos, de los cuales, los seis primeros capítulos describen el proceso necesario para el desarrollo de un sistema de iluminación, y el séptimo capítulo describe el diseño de la plataforma con la cual se demostrarán diversos fenómenos ópticos-lumínicos.

En el primer capítulo se describe una de las preguntas fundamentales ¿Qué es la luz?, así como una descripción de sus características, conjuntamente con el concepto de color.

El segundo capítulo describe el funcionamiento del ojo humano, y los factores que intervienen en la visión.

En el tercer capítulo se integra la terminología utilizada en iluminación, la cual es necesaria para el estudio y entendimiento del comportamiento de la luz y las fuentes artificiales de iluminación.

En el cuarto capítulo se abordan los tipos de lámparas y una descripción de sus usos, los cuales son determinantes para el diseño de iluminación.

El quinto capítulo describe el principio de funcionamiento de los luminarios, su comportamiento y curvas fotométricas que son indispensables para el tipo de iluminación que se esté considerando.

En el sexto capítulo se abordan los principales conceptos para el cálculo de luminarias, que aunado a todos los antecedentes permiten realizar un proyecto de iluminación.

En el séptimo capítulo se aborda el diseño detallado de la plataforma para el Laboratorio de Ingeniería Eléctrica (Nave LIME 4) en el cual se describe su funcionamiento mecánico-eléctrico, además de las ventajas y beneficios que obtendrá el alumno.

A todo lo anterior es indispensable recalcar la importancia que tiene este diseño de laboratorio para contribuir a un mayor entendimiento práctico-visual, así como una adecuada aplicación del desarrollo de proyectos de iluminación.

CAPÍTULO

1

LA LUZ

1. LA LUZ

Desde el punto de vista físico, la luz es la radiación producida por los cuerpos luminosos, capaz de impresionar nuestra retina. La luz es una forma de energía radiante electromagnética que se propaga en el espacio con un movimiento ondulatorio transversal producido en un campo eléctrico y magnético a la velocidad de 300,000 km/seg.

1.1 LUZ E ILUMINACIÓN.

Son dos conceptos muy distintos, que frecuentemente se confunden y son mal interpretados. La luz puede definirse como la causa y la iluminación como el efecto de la luz en las superficies sobre las cuales incide.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA LUZ.

En primer lugar, la luz se propaga con cierta velocidad, que resulta ser muy grande; así, en el aire se mueve a 300,000 km/seg. Además, está caracterizada por su longitud de onda, que es la distancia entre dos máximos sucesivos de la onda.

La longitud de onda de la luz visible es muy pequeña, muchísimo menor que un metro, otra unidad de longitud, es el angstrom. Un angstrom es igual a:

$$1\text{A}=0.0000000001\text{m},$$

O sea una diezmilésima de millonésima de metro.

1.3 ESPECTRO VISIBLE.

La energía visible es una parte muy pequeña del espectro electromagnético que es la energía radiante que se desplaza en el espacio en forma de ondas electromagnéticas.

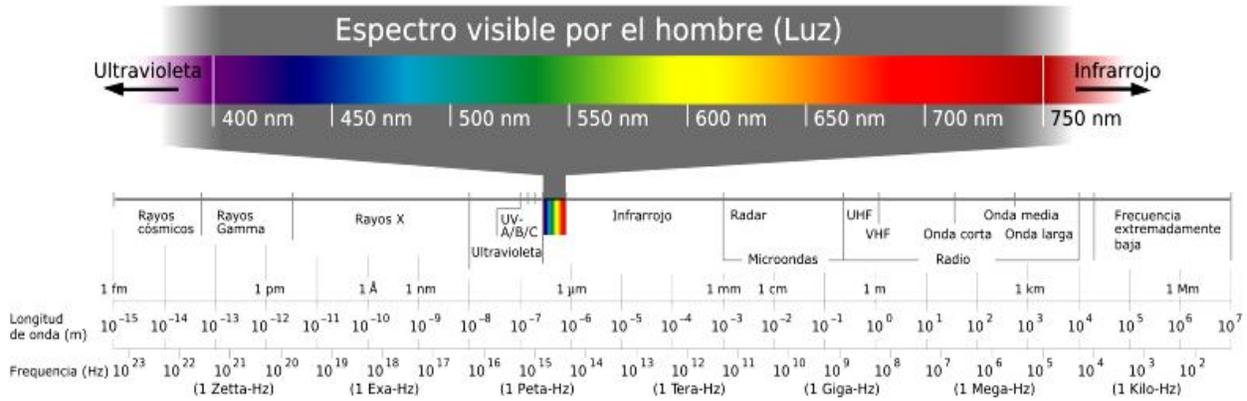


Fig. 1.1 Espectro visible.

Las radiaciones fácilmente visibles por el ojo humano son aquellas comprendidas entre 3600 y 7600 angstroms.

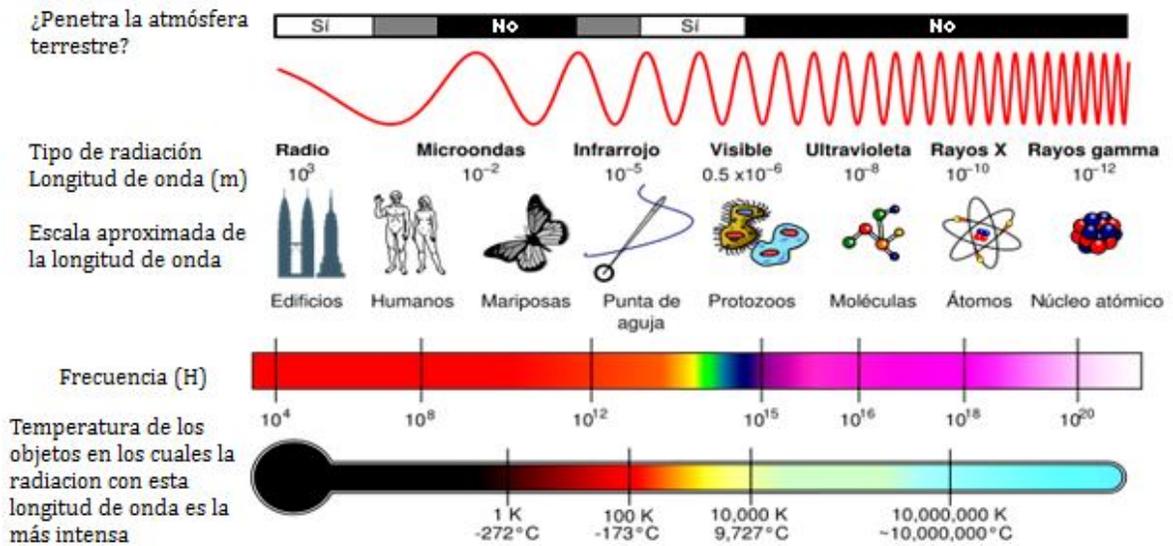


Fig. 1.2 Comparativa de las longitudes de onda.

1.4 COLOR DE LOS CUERPOS.

¿Cómo puede explicarse que dos cuerpos iluminados por la misma luz blanca nos parezcan de diferentes colores?

Los objetos que reciben una luz compleja absorben más o menos completamente ciertas radiaciones monocromáticas, difundiendo las que no absorben. Así, pues, un cuerpo nos parecerá amarillo a la luz de sol si absorbe el azul y el violeta del espectro; tendrá cierto color rojo si absorbe las radiaciones sencillas verdes y azules; parecerá blanco si difunde todas las radiaciones sin absorberlas, gris neutro si las absorbe todas parcialmente en la misma cantidad, y negro si absorbe por completo todas las radiaciones del espectro.

La apariencia del color de un objeto depende esencialmente de la naturaleza de la fuente que lo ilumina. Este efecto es todavía más marcado con la luz verdosa producida por los arcos de mercurio; los colores se modifican completamente, porque esta luz no contiene el rojo, sino solamente cinco radiaciones monocromáticas, dos amarillas muy próximas, una verde muy intensa, otra añil y otra violeta.

Por último, si se iluminan objetos coloreados con una luz monocromática, todos los colores se ven grisáceos unos grises más claros y otros más oscuros, solo se puede identificar el color amarillo.

1.5 TEMPERATURA DE COLOR.

Es una valoración del color de las fuentes luminosas adoptada por los fabricantes de lámparas.

Naturalmente, la temperatura de color no se mide con el termómetro; simplemente define el color de la luz. De todos modos existe un nexo entre temperatura y color. Al calentar un pedazo de hierro, este pasa por toda una gama de colores que van del rojo oscuro al naranja incandescente. Cada incremento de temperatura va emparejado con un aumento de la energía radiante emitida.

Para establecer unas relaciones más precisas entre temperatura y color, los físicos han decidido tomar como patrón un cuerpo perfectamente negro, o sea, una fuente luminosa ideal dotada de la propiedad de emitir en todas las zonas del espectro el máximo de la energía radiante y de absorber por completo la energía radiante que incide sobre él. La temperatura a la que debe llevarse, a fin de que emita una luz similar a la de la luz en estudio, se identifica con el término "temperatura de color".

A efectos prácticos el "cuerpo negro" se realiza empleando una cavidad cuyas paredes están ennegrecidas con negro del humo y de cuya abertura salen las radiaciones.

Calentando uniformemente el cuerpo negro a temperatura creciente y observando la cavidad se aprecia que sale por ella una luz que se vuelve cada vez más blanca y más intensa a medida que aumenta la temperatura.



Fig. 1.3 Temperatura de color.

La temperatura de color se mide en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). Su relación con los grados centígrados es $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$.

- Luna 4,100 $^{\circ}\text{K}$
- Sol a medio día (verano) 5,300-5,800 $^{\circ}\text{K}$
- Cielo cubierto 6,400-6,900 $^{\circ}\text{K}$
- Cielo despejado, azul intenso 10,000-25,000 $^{\circ}\text{K}$

Entre estos valores, puramente indicativos, se encuentran las temperaturas de color de los diferentes tipos de lámparas. Por ejemplo, la temperatura de color de una lámpara de incandescencia de 40W es de 2,800 $^{\circ}\text{K}$, en tanto que la de una de 500W es de 2,960 $^{\circ}\text{K}$, a menor temperatura el color de la lámpara es más cálido y a mayor temperatura el color de la lámpara es más frío.

1.6 TONOS DE COLOR EN LAS LAMPARAS.

Los diferentes tonos de color en las lámparas causarán diferentes sensaciones.

Blanco cálido: este tono produce una sensación de proximidad, así que para aplicaciones en las que se ha de crear un ambiente agradable y confortable, se recomienda utilizar fuentes de luz cálida.

Este tono se utiliza principalmente para un mayor confort en la recámara de la casa, el comedor, la sala y el estudio, proporciona una atmósfera de iluminación positiva en locales comerciales, oficinas, salas de espera y recepciones. En salones sociales, hoteles, restaurantes, salas de conferencia o conciertos, exposiciones y teatros, crean un ambiente agradable y festivo, mientras que en bibliotecas, aulas o salones de reunión generan un ambiente relajado.

Las lámparas que ofrecen luz cálida están identificadas con las siguientes descripciones:

3,000 °K – blanco cálido.

2,700 °K – blanco cálido interna (es un tono de luz todavía más cálido).

Aún cuando el gusto por los colores varía dependiendo de la personalidad, edad, sexo y clima, se puede establecer como regla general que la aceptación de la luz cálida para interiores, es dominante.

En la actualidad las lámparas fluorescentes se manejan por temperatura de color.

Blanco frío: es un tono de luz que se utiliza para crear ambientes dinámicos de actividad y de movimiento.

Considerada como luz "típica de trabajo". Se usa también en algunas aéreas de la casa como cocinas, baños, salas de juego, sótanos y talleres.

Las descripciones de este tono de la luz están identificadas en lámparas como 4,100 °K o 4,000 °K.

Luz de día: psicológicamente crea efecto de un ambiente más fresco, sobre los lugares donde hace calor.

Resalta lugares que utilizan muebles blancos, mármol o bien para áreas exteriores.

Las descripciones que identifican este tono de luz en las lámparas son 5,000 °K ó 6,000 °K.

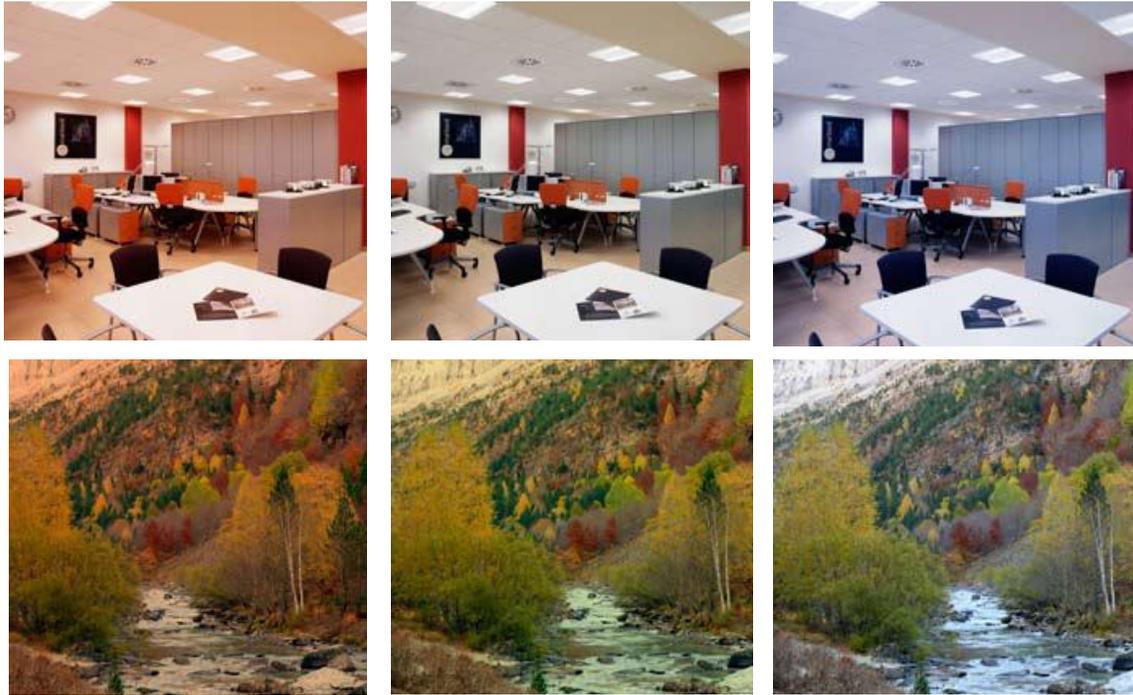


Fig. 1.4 Tonos de luz.

1.7 ÍNDICE DE REPRODUCCIÓN CROMÁTICO (IRC).

Como ayuda para indicar el aspecto de los colores bajo distintas fuentes de luz, se creó un sistema hace unos años que compara matemáticamente el modo en que una fuente de luz cambia la ubicación de ocho colores pastel determinados en una versión del espacio de color C.I.E. con respecto a los mismos colores iluminados con una fuente de referencia con la misma temperatura de color. Si no hay un cambio de aspecto, se asigna a la fuente de luz en cuestión un IRC de 100. Desde 2,000 °K hasta 5,000 °K, la fuente de luz de referencia es el radiador de cuerpo negro, y por encima de 5,000 °K, es una forma de luz diurna acordada.

Una lámpara incandescente, por definición, tiene un índice de reproducción cromático (IRC) cercano a 100. Esto no significa que una lámpara incandescente es una fuente de luz idónea para la reproducción del color. No lo es. Tiene muy poco azul, como sabe cualquiera que haya intentado clasificar tonos azul marino, azul real y negro con niveles bajos de luz incandescente. Por otro lado, la luz diurna exterior procedente del norte a 7,500 °K tiene poco rojo, de forma que tampoco es una fuente

de reproducción del color "perfecta", aunque también tiene un IRC de 100 por definición.

El IRC resulta útil para especificar el color si se usa dentro de sus límites. Originariamente, el IRC se creó para comparar fuentes de espectro continuo con IRC superiores a 90, puesto que por debajo de este valor puede haber dos fuentes de luz con el mismo IRC pero que reproducen el color de forma muy distinta. Al mismo tiempo, los colores iluminados por fuentes con IRC diferentes en 5 o más puntos, pueden tener el mismo aspecto. Los colores vistos bajo fuentes de luz con espectros lineales como las lámparas de mercurio, halogenuro metálico y de sodio a alta presión, pueden ofrecer mejor aspecto del que indicaría su IRC. No obstante, algunos colores exóticos de lámparas fluorescentes pueden tener IRC muy altos, al tiempo que distorsionan significativamente el color de algún objeto particular.

Técnicamente, los IRC sólo pueden compararse entre fuentes de luz con la misma temperatura de color. No obstante, como norma general, podemos decir que "cuanto más alto mejor"; las fuentes de luz con un IRC alto (80-100) suelen ofrecer mejor aspecto a personas y objetos que las de IRC bajo.

¿Por qué se utiliza el IRC si tiene tantos inconvenientes? Es el único sistema de reproducción del color internacionalmente aprobado para su uso indicativo. Se utilizará hasta que la comunidad científica desarrolle un sistema mejor para describir lo que realmente vemos. Es un indicador de la capacidad relativa de reproducción del color de una fuente de luz, y debe utilizarse únicamente como tal.

**CAPÍTULO
2**

EL OJO HUMANO

2. EL OJO HUMANO.

Descripción del ojo: el ojo tiene forma esférica-globo ocular de 27mm aproximadamente de diámetro, ligeramente abombada en su parte anterior; la envoltura externa es una membrana blanca y resistente, denominada esclerótica, que en su parte anterior se hace transparente, constituyendo la córnea. En su interior hay una membrana de color oscuro denominada coroides, que tapiza interiormente la esclerótica; la coroides se separa de la esclerótica en la parte anterior, constituyendo el iris, diafragma cuya pigmentación determina el color de los ojos, y que tiene en su centro una abertura circular llamada pupila; el iris, además de actuar como diafragma de los rayos a fin de que en la formación de la imagen sólo intervengan los rayos centrales, regula también la intensidad de la luz que penetra en el ojo, aumentando o disminuyendo el diámetro de la pupila desde 2mm en pleno sol a 5 mm en la obscuridad. Detrás del iris y en contacto inmediato con él, se encuentra el cristalino, lente biconvexa de estructura compleja, cuyas caras tienen diferente curvatura, algo más convexa la cara posterior, y cuyo índice de refracción aumenta de la periferia al centro, siendo su valor medio 1.40; el diámetro del cristalino es de, aproximadamente 10mm. Está sostenido en su posición de equilibrio, por una membrana elástica denominada zónula de Zinn.

En el fondo del ojo, la coroides está cubierta por un ensanchamiento de las fibras del nervio óptico, cuyas terminales están constituidos por células cónicas (conos) o cilíndricas (bastoncitos), que constituyen la retina; estas células nerviosas son las que transmiten al cerebro, a través del nervio óptico, la sensación de luz, siendo los conos los más sensibles. La diferente distribución de los conos y bastoncitos hace que la retina tenga distinta sensibilidad de unos puntos a otros; la parte más sensible es la opuesta directamente a la pupila, llamada, por su coloración, mancha amarilla (mácula lútea); de unos 2mm de diámetro, presenta en su centro una pequeña depresión o cavidad denominada fovea central, constituida casi exclusivamente por conos.

En el punto donde el nervio óptico penetra en la retina faltan casi por completo los conos y los bastoncitos, por lo cual es completamente insensible a la luz; este punto se denomina punto ciego. El cristalino y la zónula forman un tabique que divide el globo ocular en dos regiones de tamaño diferente; la región o cámara anterior, que es la menor, llena de un líquido claro, denominado humor acuoso, la región o cámara comprendida entre el cristalino y la retina contiene una sustancia transparente, casi gelatinosa, denominada cuerpo o humor vítreo, cuyo índice es algo superior al del humor acuoso.

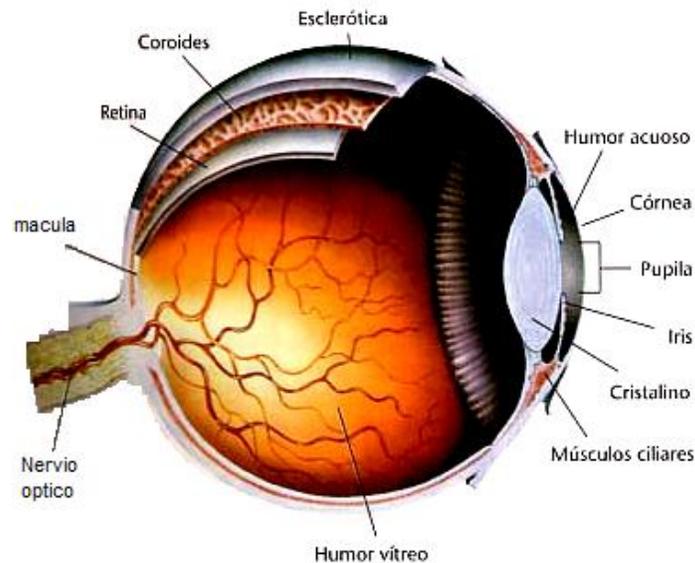


Fig. 2.1 El ojo humano.

EL ojo cumple una función fisiológica dual. En primer lugar, es un instrumento óptico que recoge la luz proveniente de los objetos del ambiente externo y proyecta imágenes de ellos en un órgano sensible a la luz, la retina y, en segundo lugar, es un receptor sensorial que traduce estas imágenes ópticas a una información que pasa a las áreas visuales del cerebro.

El propósito fundamental que se persigue al iluminar un recinto, es el de hacer visible los objetos que se localicen en ese cubículo y esto acontece, cuando la luz que procede de la fuente cae sobre ellos y se refleja hacia nuestros ojos, los cuales transforman los estímulos de la energía radiante que recibe en impulsos, los cuales son transmitidos por las fibras nerviosas al cerebro.

2.1 ACOMODACIÓN.

Para objetos cercanos al ojo, situados entre algunos metros y 30cm las imágenes se forman detrás del foco, es decir, detrás de la retina, a pesar de lo cual podemos distinguirlos claramente. Esto se debe a que el cristalino no es una lente absolutamente rígida e indeformable, sino que sus capas periféricas son relativamente blandas, de forma que sin moverse de su sitio puede modificar la curvatura de sus caras, principalmente de la anterior, por la acción del músculo ciliar, insertado en la región en donde se separa la esclerótica de la coroides, donde nace el iris.

Esta capacidad del ojo de poder adaptar la convergencia del cristalino a la distancia del ojo se denomina acomodación, y se desarrolla desde la infancia. El poder de acomodación no es ilimitado y varía con la edad; en el ojo normal o emétrope, el objeto tiene que estar situado a una distancia de 15 a 25 centímetros del ojo, denominado mínima distancia de la visión distante, y el lugar en que está situado el objeto se denomina punto próximo, denominándose punto remoto el lugar más lejano en que puede situarse el objeto para ser visto con claridad, que en el ojo normal es el infinito.

2.2 ADAPTACIÓN.

Proceso mediante el cual el sistema visual se acostumbra a una menor o mayor cantidad de luz, o a luz de color diferente. Ello resulta en un cambio de la sensibilidad del ojo a la luz.

2.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA VISIÓN.

Para diseñar un sistema complementario de iluminación es necesario comprender los factores que intervienen en la visión.

1. Tiempo
2. Tamaño
3. Brillantez
4. Contraste

Tiempo.

La visión no es un proceso instantáneo sino que requiere de tiempo. Al aumentarse el nivel de iluminación aumenta la capacidad visual y aumenta al mismo tiempo, la velocidad de la percepción.

Tamaño.

Cuanto más grande sea un objeto, en términos de ángulo de visión (ángulo subtendido del objeto al ojo) más rápidamente podrá verse. Al no poder aumentar el tamaño de los detalles de una tarea visual, será necesario aumentar el nivel de iluminación.

Brillantez.

La brillantez de un objeto la determina la cantidad de luz que este refleja hacia el ojo. La brillantez de un objeto afecta directamente su visibilidad. La cantidad de luz que una superficie refleja hacia el ojo está determinada por las características de la superficie, la intensidad de la luz incidente y el ángulo formado por esta, la fuente de luz y el ojo.

Contraste.

Es la relación que existe entre las luminancias de un objeto y su inmediato alrededor. Los niveles de iluminación compensan en parte los bajos contrastes en brillantez y son de gran asistencia donde no se pueden tener condiciones de alto contraste.

Un buen sistema de iluminación es aquel que nos proporciona un buen confort visual, entendiendo esto como la sensación de comodidad y soltura cuando permanecemos en un área correctamente iluminada.

También existe un contraste de colores, en la tabla 2.1, se reúnen algunos de estos, en orden decreciente.

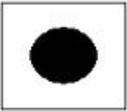
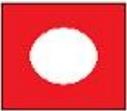
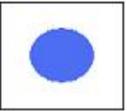
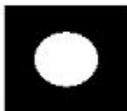
OBJETO NEGRO FONDO AMARILLO		OBJETO NEGRO FONDO BLANCO	
OBJETO VERDE FONDO BLANCO		OBJETO AMARILLO FONDO NEGRO	
OBJETO ROJO FONDO BLANCO		OBJETO BLANCO FONDO ROJO	
OBJETO AZUL FONDO BLANCO		OBJETO BLANCO FONDO VERDE	
OBJETO BLANCO FONDO AZUL		OBJETO BLANCO FONDO NEGRO	

Tabla 2.1 Contraste de color.

**CAPÍTULO
3**

**INTENSIDAD
LUMINOSA**

3. INTENSIDAD LUMINOSA

Es la densidad de la luz dentro de un ángulo sólido extremadamente pequeño, en una dirección determinada, su unidad de medida es la candela (cd), la cual es la cantidad física básica internacional en todas las medidas de la luz; las demás unidades se derivan de ella. Su valor está determinado por la luz emitida por un patrón de laboratorio llamado cuerpo negro, trabajando a una temperatura específica. Una vela corriente de cera tiene, en dirección horizontal una intensidad luminosa de aproximadamente una candela.

La intensidad luminosa es una propiedad característica de una fuente luminosa de luz y da la información relativa al flujo luminoso en su origen.

La intensidad luminosa se emplea no sólo para indicar la intensidad de una fuente en una determinada dirección, sino que frecuentemente se toman medidas de la potencia en candelas desde distintos ángulos alrededor de la fuente o luminario, y se representan gráficamente los resultados para obtener la curva de distribución luminosa. Esta curva muestra la intensidad luminosa en cualquier dirección, y a partir de ella pueden hacerse cálculos de iluminación.

3.1 FLUJO LUMINOSO.

Es la cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo. Se representa con el símbolo Φ y su unidad es el lumen, el cual es el flujo de luz que incide sobre una superficie de un metro cuadrado, la totalidad de cuyos puntos diste 1 metro de una fuente puntual teórica, que tenga una intensidad luminosa de una candela en todas las direcciones. Esta superficie es una sección de un metro cuadrado de una esfera de un metro de radio, en cuyo centro se encuentra una fuente puntual uniforme de una candela.

El mismo concepto puede expresarse diciendo que un lumen es el flujo emitido en un ángulo sólido unido por una fuente puntual uniforme de una candela. La diferencia entre el lumen y la candela reside en que aquél es una medida del flujo luminoso, independientemente de la dirección.

El lumen sirve para expresar cantidades de flujo luminoso: la emisión total de una fuente, la emisión en una zona angular determinada, la cantidad de luz reflejada, absorbida o transmitida por un objeto, la cantidad de luz incidente sobre una superficie, etc.

El método del lumen para calcular el nivel de iluminación se basa en el flujo luminoso emitido por las fuentes y en la distribución del mismo dentro de la zona considerada.

3.2 ILUMINANCIA

Es la densidad de flujo luminoso sobre una superficie. Su unidad es el lux (lx) el cual es la iluminación en un punto (A) sobre superficie que dista, en dirección perpendicular, un metro de una fuente puntual uniforme de una candela.

De la definición de lumen se deduce que un lumen uniformemente distribuido en un metro cuadrado de superficie produce una iluminación de un lux.

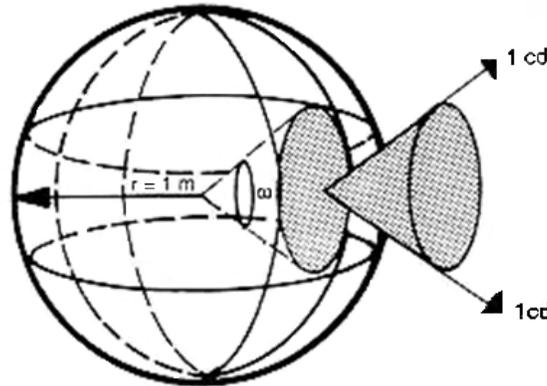


Fig. 3.1 Ángulo sólido.

Las lecturas de lux sirven para indicar la iluminación en un punto determinado o la iluminación media sobre una superficie. La ley de la inversa del cuadrado constituye la base del cálculo en el método "punto por punto" para proyectos de iluminación.

La ley del cuadrado inverso expresa matemáticamente la relación que existe entre intensidad luminosa e iluminación. Esta ley establece que la iluminación en un punto de una superficie es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la luz incidente en ese punto, e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia, mínimo 5 veces mayor dimensión de la fuente de luz.

Cuando el punto está sobre una superficie perpendicular con respecto a la luz incidente, se aplica la siguiente fórmula:

$$E = \frac{cd}{D^2}$$

Donde:

E =iluminancia (lux o bujías-pie).

cd = candelas dirigidas hacia el punto de interés.

D = distancia de la fuente de luz al punto de interés (m).

Candela (cd): se define como la intensidad luminosa, en una dirección dada, de una fuente luminosa que emite una radiación monocromática (540×10^{12} hz-555 nanómetros) y de la cual, la intensidad radiante en esa dirección es de 1/683 watts /steradian.

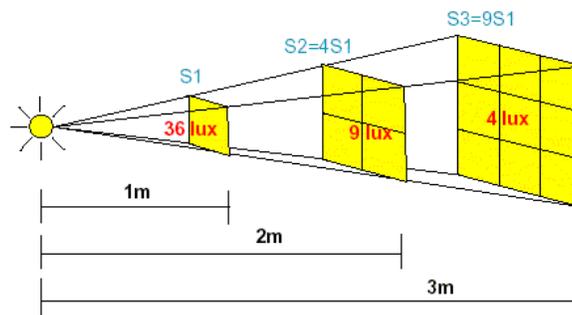


Fig. 3.2 Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

3.3 LUMINANCIA O BRILLO FOTOMÉTRICO.

El término técnico es brillo fotométrico o luminancia, pero en el lenguaje ordinario se usa frecuentemente la palabra brillo. Es la intensidad luminosa de una superficie en una dirección dada por unidad de área proyectada de la misma.

El ojo ve brillo, no iluminación. Todos los objetos visibles tienen brillo, que normalmente es independiente de la distancia de observación. Se representa por la letra B, y sus unidades son stilb (cd/cm²) o bien lambert (lm/cm²).

Un lambert es la luminancia o brillo de una superficie que emite o refleja un lumen por centímetro cuadrado.

La luminancia se expresa en dos formas en candelas por unidad de superficie o lúmenes por unidad de superficie. Una superficie que emite o refleja luz en una dirección determinada a razón de una candela por cm² de área proyectada tiene un brillo en dicha dirección de un stilb.

Una superficie que tiene un brillo en una dirección dada igual al brillo uniforme de una superficie perfectamente difusora que emite o refleja un lumen por pie cuadrado, tiene en dicha dirección un brillo de un footlambert (lambert-pie), unidad utilizada en los países de habla inglesa.

Las luminancias relativamente altas, tales como las de las fuentes de luz, se expresan normalmente en stilbs. Como la luminancia de una superficie mate puede calcularse en mililamberts multiplicando la iluminación en lux por el factor de reflexión y dividiendo entre 10, esta unidad es muy adecuada para expresar los brillos o luminancias de superficies iluminadas.

3.4 LA LEY DEL COSENO.

La ley del coseno, establece que la iluminación de una superficie es proporcional al coseno del ángulo de incidencia del rayo de la luz.

Cuando la luz cae perpendicularmente sobre una superficie, el ángulo de incidencia es cero grados, siendo 1.0 el coseno.

La ley del cuadrado inverso y la ley del coseno se combinan de la siguiente manera:

$$E = \frac{cd \cos \theta}{D^2}$$

En donde:

θ = Representa el ángulo de incidencia.

cd = candelas dirigidas hacia el punto de interés.

D = distancia de la fuente de luz al punto de interés (m).

3.5 ÍNDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR.

La percepción de los colores se debe a que los objetos reflejan parte de las radiaciones que inciden en él, siendo estas las que determinan el color que nosotros apreciamos y la restante región del espectro es absorbida.

3.6 CONTROL DE LA LUZ.

El control de la luz es la técnica para remodelar la distribución de la luz de la propia fuente y producir una iluminación más útil sobre las superficies de trabajo y reducir el deslumbramiento directo y reflejado hacia los ojos.

Parte de la luz emitida por la fuente va hacia arriba y puede ser redirigida hacia abajo por acción de la reflexión. Hay dos métodos básicos para reflejar la luz: especular y difuso.

Cuando un rayo de luz choca contra una superficie, como un espejo, una parte de la luz rebota como una pelota arrojada contra una pared. El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.



Fig. 3.3 Reflexión.

La intensidad del rayo reflejado depende del factor de reflexión de la superficie. El color del rayo reflejado también puede ser diferente del color del rayo incidente si la superficie tiene propiedades selectivas de color.

Por ejemplo un rayo reflector amarillo impartirá un tinte amarillento a un rayo de color blanco.

Las superficies de tipo especular alteran la intensidad y el color del rayo incidente dependiendo de la eficiencia de reflexión y su color. En la práctica, un reflector plano tiene muy pocos usos; se emplean superficies curvas de distintas formas para crear resultados específicos.

**CAPÍTULO
4**

**ILUMINACIÓN
ARTIFICIAL**

4. ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Las fuentes luminosas se dividen en dos tipos:

- a) Naturales
- b) Artificiales

La fuente luminosa natural más conocida es el Sol y las fuentes luminosas artificiales son las lámparas eléctricas.

En la actualidad se dispone de una enorme variedad de lámparas, en sus diferentes tipos, las cuales se describen a continuación:

4.1 TIPOS DE LÁMPARAS.

Incandescencia.

- Convencional
- Halógena

Vapor de mercurio.

- Baja presión
 - Fluorescencia lineal
 - Fluorescencia compacta
- Alta presión
 - Vapor de mercurio
 - Halogenuros metálicos
 - Quemador de cuarzo
 - Quemador cerámico

Vapor de sodio.

- Alta presión
- Baja presión

Inducción magnética.

Led.

- Baja potencia
- Alta potencia
- Panel

INCANDESCENCIA CONVENCIONAL.



Apariencia de color:
blanco cálido
Temperatura de color 2,600 °K
IRC: 100
Vida útil: 1,000hrs

Fig. 4.1 Foco Estándar.

- Ventajas
 - Buena reproducción cromática
 - Encendido instantáneo
 - Variedad de potencias
 - Facilidad de instalación
 - Apariencia de color cálido
- Inconvenientes
 - Reducida eficacia luminosa
 - Corta duración
 - Elevada emisión de calor
- Uso recomendado
 - Alumbrado interior
 - Alumbrado de acento
 - Casos especiales de buena reproducción cromática

Eficacia luminosa: relación de flujo luminoso total emitido en lúmenes por la lámpara entre la potencia eléctrica consumida por la misma. Su unidad está dada en: lúmenes/watt.

INCANDESCENCIA HALÓGENA.



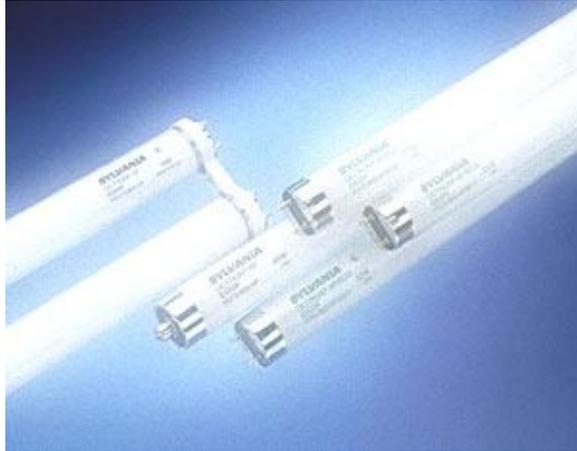
Apariencia de color:
blanco
Temperatura de color 2,900 °K
IRC: 100
Vida útil: 2,000 – 5,000hrs

Fig. 4.2 Lámpara Halógeno.

- Ventajas
 - Buena reproducción cromática
 - Encendido instantáneo
 - Bajo costo de adquisición
 - Variedad de tipos
 - Elevada intensidad luminosa
 - Facilidad de instalación
- Inconvenientes
 - Reducida eficacia luminosa
 - Corta duración
 - Elevada emisión de calor
- Uso recomendado
 - Alumbrado interior
 - Reduce decoloración
 - En bajo voltaje, con equipos electrónicos
 - Con reflector dicróico (luz fría), con reflector de aluminio menor carga térmica

FLUORESCENCIA COMPACTA.

(Mercurio Baja Presión)



Apariencia de color:
diferentes blancos
Temperatura de color 2,600 – 6,500 °K
IRC: 50 - 95
Vida útil: 10,000hrs

Fig. 4.3 Lámpara Fluorescente.

- Ventajas
 - Buena eficacia luminosa
 - Larga duración
 - Bajo costo de adquisición
 - Variedad de apariencia y color
 - Distribución luminosa adecuada al ejemplo en interiores
 - Buena reproducción de los colores
- Inconvenientes
 - Dificultad de lograr contraste e iluminación de acento
 - Forma y tamaño para algunas aplicaciones
- Uso recomendado
 - Alumbrado interior

Todas las lámparas de descarga requieren de un balastro electromagnético o electrónico, la función del balastro es la de darle la corriente y la tensión que requiere la lámpara en el arranque y en su operación.

FLUORESCENCIA COMPACTA.

(Mercurio Baja Presión)



Apariencia de color:
diferentes blancos
Temperatura de color 2,600 – 6,500 °K
IRC: 50 - 95
Vida útil: 10,000hrs

Fig. 4.4 Lámpara Fluorescente.

- Ventajas
 - Buena eficacia luminosa
 - Larga duración
 - Mínima emisión de calor
 - Variedad de apariencia y color
 - Facilidad de instalación en la opción con casquillo Edison
- Inconvenientes
 - Costo medio a alto
- Uso recomendado
 - Sustitución de lámparas incandescentes
 - Alumbrado de interior

MERCURIO DE ALTA PRESIÓN.



Apariencia de color: blanco
Temperatura de color 4,000 °K
IRC: 45
Vida útil: 16,000hrs

Fig. 4.5 Lámpara de Mercurio Alta Presión.

- Ventajas
 - Buena eficacia luminosa
 - Larga duración
 - Variedad de potencias
- Inconvenientes
 - Alta radiación UV
 - Flujo luminoso no instantáneo
- Uso recomendado
 - Alumbrado exterior e industrial
 - En aplicaciones especiales con filtro UV (fosforados)

HALOGENUROS METÁLICOS.

(Mercurio Alta Presión)



Apariencia de color:
diferentes blanco frío
Temperatura de color 4,800 – 6,500 °K
IRC: 65 - 95
Vida útil: 9,000hrs

Fig. 4.6 Lámparas de Mercurio Alta Presión.

- Ventajas
 - Buena eficacia luminosa
 - Duración alta
 - Variedad de potencias
 - Las hay en tamaños compactos
- Inconvenientes
 - Sensibilidad a las variaciones de tensión
 - Flujo luminoso no instantáneo
- Uso recomendado
 - Alumbrado deportivo y monumental
 - Alumbrado interior (general y de acento)

LUZ MIXTA.



Apariencia de color: blanco
Temperatura de color 1,800 °K
IRC: no aplicable
Vida útil: 6,000hrs

Fig. 4.7 Lámpara de Luz Mixta.

- Ventajas
 - Bajo costo
 - Mediana duración
 - Conexión directa a la red
- Inconvenientes
 - Sensibilidad a variaciones de tensión
 - Reproducción de color pobre
 - Baja eficacia
 - Flujo luminoso no instantáneo
- Uso recomendado
 - Almacenes
 - Cobertizos
 - Plazas
 - Vías de comunicación

VAPOR DE SODIO ALTA PRESIÓN.



Apariencia de color:
blanco amarillo
Temperatura de color 2,000 – 2,500 °K
IRC: 25
Vida útil: 16,000hrs

Fig. 4.8 Lámpara de Sodio Alta Presión.

- Ventajas
 - Muy buena eficacia luminosa
 - Larga duración
 - Poca depreciación de flujo
 - Posibilidad de reducción de flujo
- Inconvenientes
 - Regular reproducción cromática
 - Estabilidad no instantánea
 - Requiere balastro con ignitor para encender
- Uso recomendado
 - Alumbrado exterior
 - Alumbrado interior industrial
 - Alumbrado de túneles

VAPOR DE SODIO BAJA PRESIÓN.



Apariencia de color: amarillo
Temperatura de color 1,800 °K
IRC: no aplicable
Vida útil: 14,000hrs

Fig. 4.9 Lámpara de Sodio Baja Presión.

- Ventajas
 - Excelente eficacia luminosa
 - Larga duración
 - Aceptable rendimiento de color en tipos especiales
 - Reencendidos instantáneos en caliente
- Inconvenientes
 - Muy mala reproducción cromática porque es una lámpara monocromática solo reproduce los colores amarillos
 - Flujo luminoso no instantáneo
- Uso recomendado
 - Alumbrado zonas de niebla
 - Alumbrado de túneles

INDUCCIÓN DE ALTO VOLTAJE.



Apariencia de color:
diferentes blancos
Temperatura de color 2,700 – 4,000 °K
IRC: 80
Vida útil: 60,000hrs

Fig. 4.10 Lámpara de Inducción de Alto Voltaje.

La lámpara de inducción, introduce un concepto nuevo en la generación de la luz. Basada en el principio de descarga de gas a baja presión, la principal característica novedosa del sistema de la lámpara, es que prescinde de la necesidad de los electrodos para originar la ionización. En cambio utiliza una antena interna, cuya potencia proviene de un generador externo de alta frecuencia para crear un campo electromagnético dentro del recipiente de descarga, y esto es lo que induce la corriente eléctrica en el gas a originar su ionización.

La ventaja principal que ofrece este avance es el enorme aumento en la vida útil de la lámpara. Además de un nulo mantenimiento por operación, un mayor rango de iluminación, libre de parpadeos, encendido inmediato.

LED.



Apariencia de color: blanca
Temperatura de color 2,700 – 4,000 °K
IRC: 80
Vida útil: 100,000hrs

Fig. 4.11 Lámpara de Leds.

Los leds básicamente son lámparas de estado sólido, o sea sin filamento ni gas inerte que lo rodee, ni cápsula de vidrio que lo recubra. El led es un semiconductor unido a dos terminales cátodo y ánodo (negativo y positivo respectivamente) recubierto por una resina epoxi transparente. Cuando una corriente circula por el led se produce un efecto llamado electroluminiscencia o sea el led emite luz monocromática en frecuencias que van desde el infrarrojo pasando por todo el espectro de luz visible y llega hasta el ultravioleta.

Los leds empezaron a utilizarse en un principio como indicadores en muchos equipos de uso doméstico, como indicadores on/off, vúmetros, displays numéricos, etc. Este fue el uso principal por muchos años debido fundamentalmente a su baja luminosidad. Hoy en día se están utilizando cada vez más en carteles en exteriores e iluminación como reemplazo de lámparas incandescentes gracias a su mejorada eficiencia lumínica.

Otras aplicaciones son, carteles de mensajes variables (Variable Message Sign, VMS), pantallas gigantes, semáforos y señales de tránsito, reemplazo de luces de posición, frenos e iluminación interior en automóviles, terapias de luz infrarroja en aplicaciones médicas, barreras infrarrojas, controles remotos, etc.

¿Qué ventajas tienen los leds en comparación con las lámparas incandescentes?

Poseen varias ventajas dentro de las cuales podemos citar: Reducido tamaño: Sólo unos pocos milímetros cúbicos. Reducido consumo de energía: Generalmente en el orden de 100mW, comparado con 1W de las lámparas más chicas. Elevada eficiencia de conversión: Esto es, gran parte de la energía eléctrica de entrada es transformada en energía lumínica. Larga vida útil: Hasta 100,000 horas de vida útil comparado con 8,000 horas de vida útil de una buena lámpara incandescente. Elevada resistencia mecánica: Al ser elementos 100% sólidos, resisten golpes y vibraciones mucho mejor que una lámpara incandescente. Bajo tiempo de respuesta: Usualmente en el orden de los 0.1 microsegundos en comparación con más de 20 milisegundos para las lámparas incandescentes, esto permite utilizar los leds en forma multiplexada como en los displays alfanuméricos o en aplicaciones de telecomunicación por aire o por fibra óptica.

LEDS DE ALTA POTENCIA.

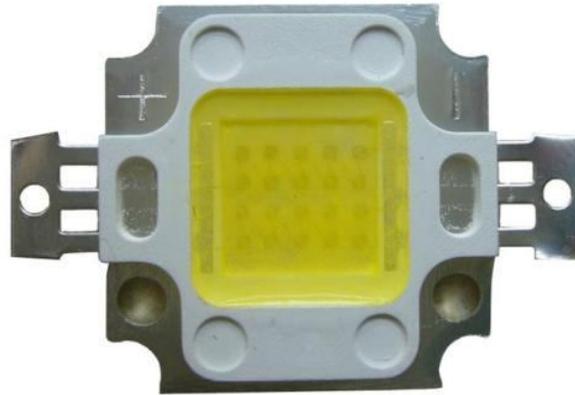


Fig. 4.12 Lámpara de Leds Alta Potencia.

Un LED de alta potencia tipo (Surface Mount Device, SMD) de 120W es un diodo emisor de luz (Light Emitting Diode – LED) de alto flujo luminoso direccional y de gran alcance de proyección que se encuentra encapsulado dentro de una resina semirrígida e incorporado dentro de un dispositivo de montaje en superficie, y se considera como uno de los opto semiconductores de última generación para iluminación general que tienen las más altas eficacias y emisiones lumínicas con un alto índice de rendimiento de color.

Este tipo de LED integrado dentro de una base termoplástica de bajo perfil en la cual se incorpora una placa de material semiconductor de Nitruro de Galio e Indio (InGaN) con una pantalla emisora de fósforo luminiscente de color amarillo, tiene las siguientes características:

- * Flujo luminoso inicial de 12,000 lúmenes.
- * Potencia de 120W
- * Eficacia de 100 lm/W.
- * Flujo luminoso efectivo visual (VEL) de 23,520 lúmenes.
- * Índice de rendimiento de color de 80.
- * Temperatura de color blanco frío de 4,000 y 5,500K
- * Vida promedio de 50,000 a 60,000 horas.
- * Depreciación del flujo luminoso de 20%.
- * Ángulo de apertura de emisión de la intensidad luminosa de 120°.
- * Voltaje de operación de 36 V de corriente directa.

- * Nula emisión de rayos ultravioleta e infrarrojos
- * Nulo contenido de Mercurio.
- * Eliminación de la variación del flujo luminoso de salida (efecto flicker).
- * Alta resistencia a la vibración e impacto mecánico.

A su vez, los luminarios high bay de montaje suspendido con reflector circular liso fabricado de aluminio rechazado con un LED de alta potencia tipo SMD de 120W tienen las siguientes características: Carcasa independiente con ranuras inferiores disipadoras de temperatura fabricada en fundición de aluminio inyectado en alta presión con acabado de pintura en polvo de resina poliéster aplicada mediante proceso electrostático.



Fig. 4.13 Luminario High Bay.

PANEL OLED DE OSRAM.

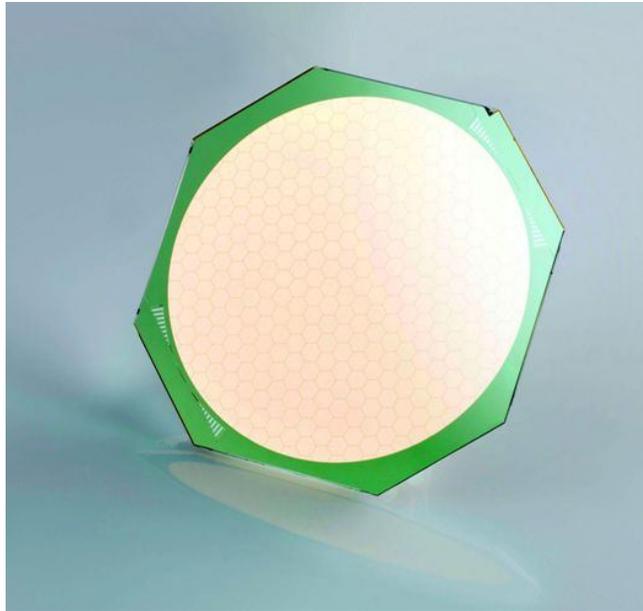


Fig. 4.14 Panel Oled.

Entre sus características a destacar pueden mencionarse su color blanco cálido, área de salida de luz diámetro 0.79 mm, brillo de 1,000 cd/m² con una entrada de energía de menos de 1W de potencia, eficiencia 25 lm (15 lm de salida). Su tiempo de vida es de 5 mil horas, el rendimiento típico: 25 lm/W, 50 cm², 1,000 cd/m² y no emite radiación ultravioleta o infrarrojos, además de que tiene interconexión de cuatro contactos salientes.

A diferencia de los LEDs convencionales, los OLED no son fuentes de luz; su cálida luz blanca es similar a la de una lámpara incandescente, que requiere sólo la mitad de la energía y dura cinco veces más.

4.2 DURACIÓN O VIDA DE LAS LÁMPARAS.

La vida de una lámpara es otro de los parámetros importantes a tener en cuenta en el momento de seleccionar la fuente luminosa idónea para la aplicación estudiada, puesto que influye de un modo directo en la economía del sistema. Se hace necesario definir dos tipos diferenciados de vida a los que vamos a asignar denominación de vida media y vida útil, si bien en algunos casos pueden resultar sensiblemente coincidentes.

Para hallar la vida media de un modelo de lámpara de una determinada potencia se dispone una muestra suficientemente amplia de estas y se las hace funcionar controlando su comportamiento. Se mide entonces el tiempo que transcurre desde el momento de su activación hasta que el 50% de las lámparas analizadas falla tomando como vida media este dato.

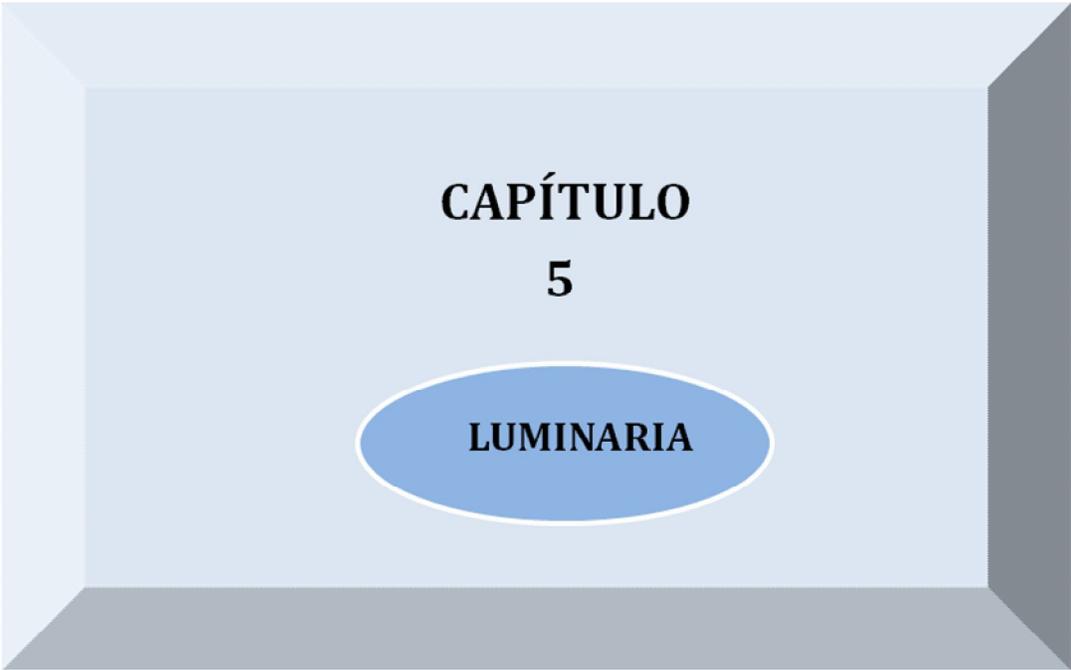
Este concepto, sin embargo, resulta insuficiente para hablar de la calidad lumínica de un sistema a lo largo del tiempo, puesto que tan sólo hace referencia a la vida de la lámpara desde que comienza a funcionar hasta que deja de hacerlo. Hemos de considerar, además, que en la mayoría de los casos la fuente luminosa deja de ser rentable mucho antes de dejar que esto ocurra.

A medida que pasa el tiempo que hemos utilizado una lámpara, ésta experimenta una disminución de las cualidades de su flujo luminoso así como de su cantidad, pudiendo llegar a ser inservible para la función para la que ha sido utilizada. Para hablar de este deterioro se hace necesario fijar el concepto de vida útil, este se refiere a "el tiempo transcurrido" desde que una muestra de fuentes luminosas de un tipo determinado comienza a funcionar hasta que el flujo luminoso suministrado es inferior al 80% del valor nominal.

La depreciación de la calidad de la luz emitida va más allá de una mera pérdida cuantitativa del flujo con respecto al inicial, afectando también a otros valores como es el caso del índice de reproducción cromática.

Es posible incluso que, aunque la lámpara siga funcionando, deje de ser apta para una función específica si su Ra es inferior a los valores requeridos para ello.

El abanico de valores para la vida es enormemente amplio, ya que abarca desde las 1,000 horas de vida media con que cuenta una "bombilla" estándar hasta las 60,000 horas que vive una lámpara de inducción magnética.



CAPÍTULO

5

LUMINARIA

5. LUMINARIA

Las luminarias sirven para repartir, filtrar o transformar el flujo luminoso de las lámparas, comprendiendo todas las piezas necesarias para fijar y proteger dichas lámparas y unirlas al circuito de alimentación.

La concepción de una luminaria deberá considerarse atentamente para que tenga un acabado conveniente y duradero, sea fácil de instalar y utilizar, permitiendo además realizar un mantenimiento de manera regular, cómoda y sin riesgos.

Los requisitos más importantes que han de poseer las luminarias son:

Estar provistas de un dispositivo de protección que evite el deslumbramiento (utilizando para ello pantallas opacas y paraluces que eviten los rayos luminosos próximos a la horizontal).

Distribuir la luz al techo y sobre la parte superior de los muros; de tal manera que, combinada con la luz directa, se produzca una luz difundida que no cree sombras abruptas y contrastes excesivos.

Los componentes principales de un luminario son:

Mecánico: materiales usados para su construcción.

Eléctrico: socket, balastro y cables.

Estático: apariencia del luminario, esencial para su utilización en oficinas, zonas arqueológicas, coloniales, etc.

Óptico: control del flujo luminoso reflector y refractor.

5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS LUMINARIOS DE ACUERDO A SU CURVA DE DISTRIBUCIÓN.

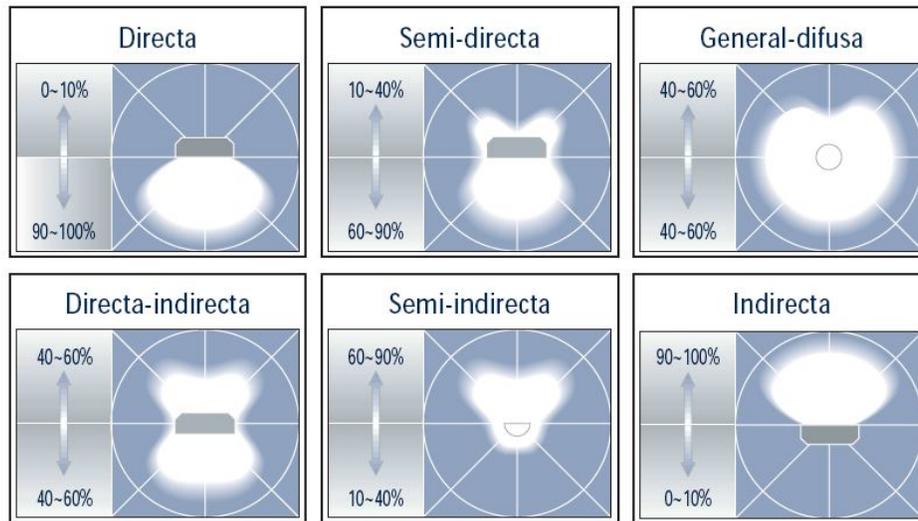


Fig. 5.1 Clasificación de luminarias según la radiación del flujo luminoso.

5.2 LOS ESPEJOS: TIPOS Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

La óptica de las luminarias es el elemento que define el tipo de emisión luminosa que tendrá esta. Las ópticas tienen un componente básico que es el espejo o reflector. Este será el encargado de "modelar" la distribución luminosa de cada luminaria. El material por excelencia para la construcción de los espejos es el aluminio en sus versiones básicas de brillante ó semi-mate. El aluminio brillante pulido a espejo, liso y anodizado, es el material indicado para todas aquellas ópticas en las que la precisión en el direccionamiento de los haces de luz sea fundamental.

Cuando lo que se busca es que la luminaria tenga una emisión de luz del tipo dispersora, el espejo que se utiliza generalmente es del mismo material pero "gofrado" (efecto de martillado del aluminio).

A continuación se describen los tipos de reflectores y sus principales características:

- **Reflector especular:** Su superficie lisa y de alto poder reflectante permite una gran precisión en el direccionamiento de los haces pudiéndose lograr así luminarias de muy alto rendimiento.

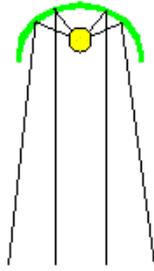


Fig. 5.2 Reflector Especular.

- **Reflector dispersor:** Con aluminio de superficie "gofrada" y de alto poder reflectante se pueden lograr excelentes espejos destinados a distribuciones de luz más abiertas. Es el caso de los proyectores tipo NEMA 4, 5, 6 y 7.

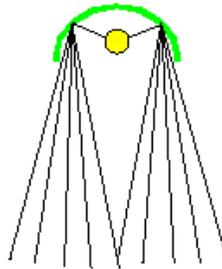


Fig. 5.3 Reflector Disperso.

La forma en que la luminaria distribuya la luz depende casi exclusivamente de la conformación del espejo o reflector (a menos que exista algún otro elemento complementario como por ejemplo vidrios tipo "fresnel", espejos adicionales, etc.) Los espejos pueden clasificarse por su forma en tres grandes grupos: circulares, parabólicos y elípticos. Existen otras formas y también combinaciones entre algunas de las anteriores (circular con parabólico, asimétricos, etc.). Sin duda los más populares son los reflectores parabólicos, elípticos y asimétricos.

Típico perfil del espejo de las luminarias destinadas a iluminar los puestos de trabajo con pantallas de video. El estudiado desarrollo de este reflector evita que las altas intensidades se extiendan por encima de un determinado ángulo (generalmente 65°) reflejándose en los monitores.



Fig. 5.4 Reflector Elíptico.

Reflector de espejo parabólico que muestra la tradicional concentración de haces paralelos producidos cuando una fuente puntual se encuentra en el centro del foco. La intensidad será mayor en el centro del haz. Con este perfil se logran proyectores de gran rendimiento.



Fig. 5.5 Reflector Parabólico.

Clásico espejo asimétrico. Estos reflectores tienen la propiedad de dirigir los haces de luz hacia una sola mitad del hemisferio inferior. Se los utiliza fundamentalmente en todos aquellos casos donde se desee iluminar intensamente una superficie vertical.

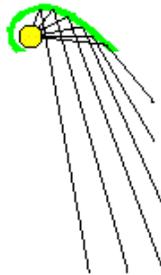


Fig. 5.6 Reflector Asimétrico.

5.3 CURVAS FOTOMÉTRICAS DE DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ.

Antes de diseñar un buen sistema de alumbrado, debemos saber interpretar las representaciones gráficas de las intensidades, en distintas direcciones, de un luminario y de las fuentes de luz.

La curva de distribución luminosa es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa en diversos ángulos alrededor de una luminaria y transcribirlas en forma gráfica, generalmente en coordenadas polares. La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección (a mayor distancia mayor intensidad). Estas mediciones se efectúan en distintos planos verticales de la luminaria, ya que la emisión de luz podrá diferir de uno a otro plano según el tipo de lámpara y de difusor (louver).

En general, la curva de distribución luminosa polar de una luminaria se representa mostrando dos de sus planos verticales; el transversal y el longitudinal (0° y 90°). Cuando la representación es en color, generalmente el plano transversal es rojo y el longitudinal azul o negro. Cuando se presenta en blanco y negro, el transversal es en trazo lleno y el longitudinal en punteado.

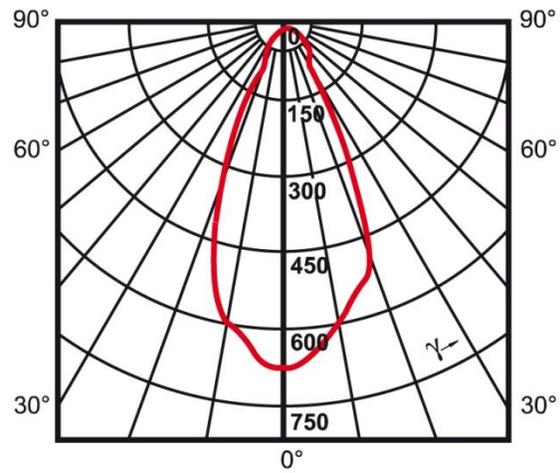
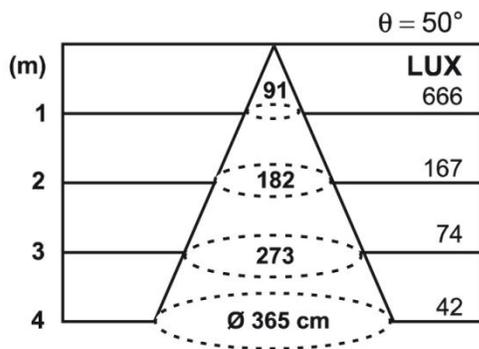
Una vez conformada la curva de distribución luminosa, esta dará lugar a todo el resto de la información fotométrica suministrada por el laboratorio de luminotecnica encargado del estudio (rendimiento de la luminaria, coeficiente de utilización, gráfico de luminancias, curvas isolux, etc.) Mediante la curva de distribución luminosa podrá calcularse la iluminancia que produce una luminaria en un punto de una superficie.

En efecto, si el tamaño de la fuente luminosa y la distancia a la superficie permiten aplicar la "ley de la inversa de los cuadrados", podrá calcularse dicha iluminancia tomando de la curva la intensidad luminosa en el ángulo correspondiente a la dirección de enfoque aplicando la "ley del coseno".

$$E = \frac{cd \cos \theta}{D^2}$$

En los casos en los que la distribución luminosa de una luminaria tiene el mismo comportamiento en todos sus planos verticales, la curva polar, se representa mediante un solo trazo generalmente de color rojo o bien en negro de trazo lleno. Este es el caso de las luminarias de distribución luminosa con simetría alrededor de su eje vertical, conocidas como "sólido fotométrico".

La lectura de la curva de distribución luminosa permitirá optar por la luminaria más adecuada y lograr un proyecto más económico. Una luminaria de distribución "ancha" y buen rendimiento permitirá un gran distanciamiento entre las mismas sin sacrificar la uniformidad de la iluminación.



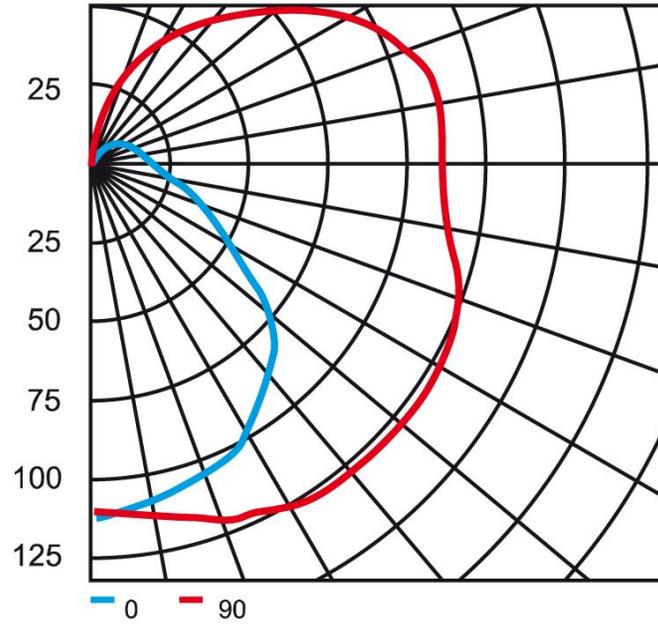


Fig. 5.7 Imagen de las curvas fotométricas.

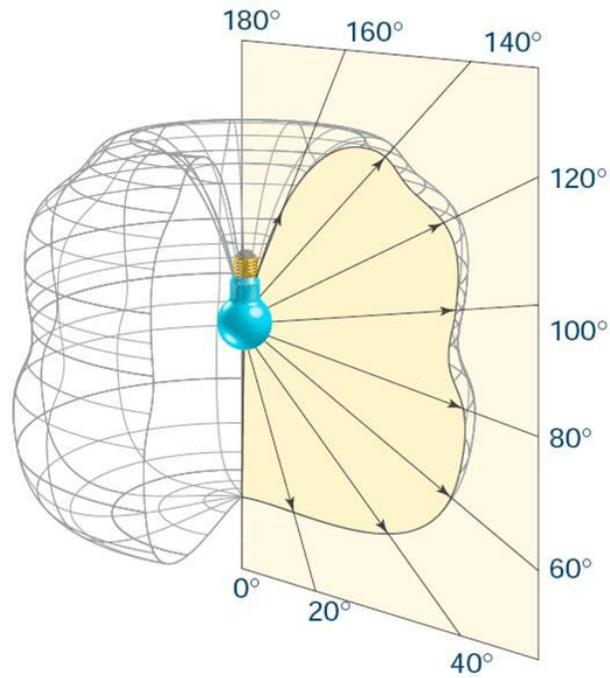


Fig. 5.8 Sólido fotométrico de una lámpara incandescente.

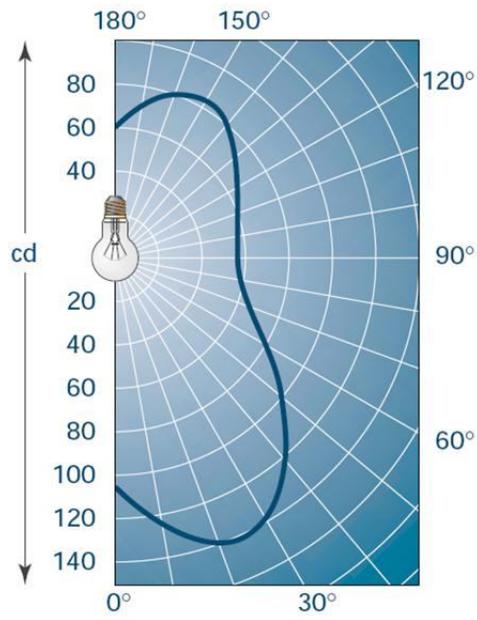


Fig.5.9 Curva fotométrica de una lámpara incandescente

**CAPÍTULO
6**

**CÁLCULO DE
ILUMINACIÓN**

6. CÁLCULO DE ILUMINACIÓN

Un diseñador de iluminación tiene cuatro objetivos principales:

- Proveer la visibilidad requerida basada en la tarea a realizarse y los objetivos económicos.
- Brindar iluminación de alta calidad mediante niveles de iluminancia uniforme y mediante la minimización de efectos negativos de brillo directo y reflejado.
- Escoger luminarios estéticamente complementarios a la instalación con características mecánicas, eléctricas y de mantenimiento, diseñadas para minimizar el costo operativo.
- Minimizar el uso de energía al tiempo que se consiguen los objetivos de visibilidad, calidad y estéticos.

6.1 MÉTODO DE LÚMEN.

Datos de área a analizar:

A.- Planos (planta y elevación) con cotas y escalas

B.- Dimensiones

- 1.- Largo
- 2.- Ancho
- 3.- Altura

C.- Tipo de techo

- 1.- Horizontal
- 2.- Dos aguas
- 3.- Diente de sierra

D.- Identificar las diferentes áreas a iluminar y la actividad que en ellas se desarrollan.

E.- Determinar el nivel de iluminación recomendado por el I.E.S. (Illuminating Engineering Society) o por la S.M.I.I. (Sociedad Mexicana de Ingenieros en Iluminación).

F.- Ubicación y altura de la maquinaria instalada en cada una de las áreas.

G.- Si existe grúa viajera, ubicación y altura.

H.- Existen áreas clasificadas.

I.- Si existen racks o estantería conocer su ubicación, altura, ancho de rack y pasillo.

J.- Acabado del local.

- 1.- Piso
- 2.- Techo
- 3.- Pared

6.2 CÁLCULO DEL MÉTODO DE LÚMEN.

INTERIORES.

$$E = \frac{(\text{lúmenes} \times \text{luminario})(\text{No. luminarios})(c.u)(f.m.)}{\text{área}}$$

EXTERIORES.

$$E = \frac{(\text{lúmenes} \times \text{luminario})(\text{No. luminarios})(c.u)(f.m.)}{(\text{espacio entre luminarios})(\text{ancho de la calle})}$$

PROYECTORES.

$$E = \frac{(\text{lúmenes del haz})(\text{No. luminarios})(c.u)(f.m.)}{\text{área}}$$

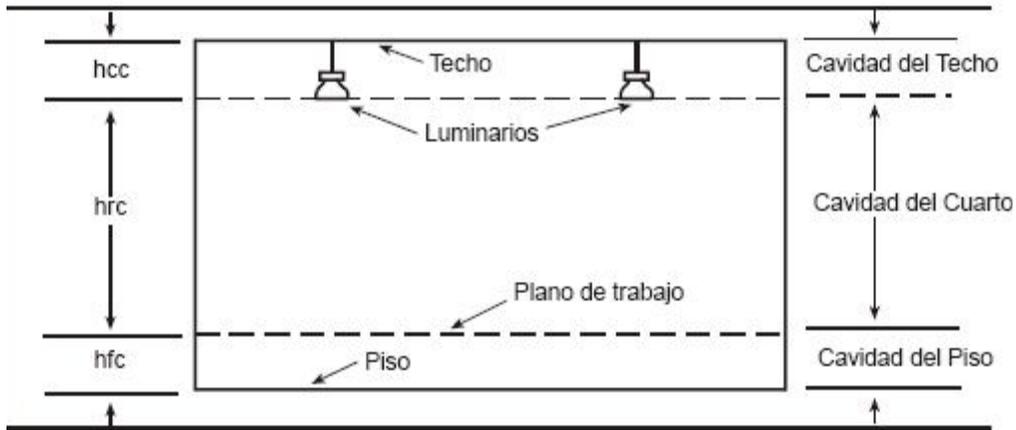
DONDE:

c.u. = Coeficiente de Utilización.

f.m. = Factor de Mantenimiento o Factor de Pérdidas de luz.

6.3 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN (C.U.).

Existen dos métodos para determinar el Coeficiente de Utilización: Índice de Cuarto y Cavidad Zonal.



Donde:

hcc: (high ceiling cavity) altura cavidad de techo.

hrc: (high room cavity) altura cavidad de cuarto.

hfc: (high floor cavity) altura cavidad de piso.

- MÉTODO DE ÍNDICE DE CUARTO.

$$IC = \frac{\text{área}}{hcc(\text{largo} + \text{ancho})}$$

- MÉTODO DE CAVIDAD ZONAL.

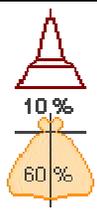
Áreas regulares

$$R.C.R. = \frac{5 \times hcc(\text{largo} + \text{ancho})}{\text{área}}$$

Áreas irregulares

$$R.C.R. = \frac{2.5 \times hcc \times \text{perímetro}}{\text{área}}$$

Ejemplo de una tabla de coeficiente de utilización, de una lámpara de vapor de sodio a alta presión de 400W de potencia con un flujo luminoso de 50,000 lm.

Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (%)																						
		Factor de reflexión del techo																						
		0.8			0.7			0.5			0.3			0										
		Factor de reflexión de las paredes																						
												0.5			0.3			0.1			0			
 10 % 60 %	0.8	.39	.35	.32	.38	.34	.32	.36	.34	.31	.33	.31	.30											
	0.8	.48	.43	.40	.47	.42	.40	.46	.42	.39	.41	.38	.37											
	1.0	.53	.49	.46	.52	.48	.45	.51	.47	.45	.46	.44	.41											
	1.25	.58	.54	.51	.57	.53	.50	.55	.51	.49	.50	.48	.45											
	1.5	.62	.58	.54	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.53	.51	.48											
	2.0	.66	.62	.59	.64	.61	.58	.61	.59	.57	.56	.55	.52											
	2.5	.68	.65	.63	.67	.64	.62	.64	.61	.60	.59	.57	.54											
	3.0	.70	.67	.65	.69	.66	.64	.65	.63	.61	.60	.59	.56											
	$D_{\text{max}} = 1.0 H_m$	4.0	.72	.70	.68	.70	.69	.67	.67	.66	.64	.63	.61	.58										
	f_m	5.0	.73	.71	.70	.71	.70	.68	.68	.67	.66	.64	.63	.59										

H_m : altura luminaria-plano de trabajo

Tabla 6.1 Factor de utilización.

6.4 RELACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CAVIDAD ZONAL E ÍNDICE DE CAVIDAD DE CUARTO.

$$R.C.R. = \frac{5}{IC}$$

6.5 FACTOR DE PÉRDIDAS DE LUZ O FACTOR DE MANTENIMIENTO. (L.L.F.) LIGHT LOSS FACTOR.

Existen dos tipos de factores de pérdida de luz: Factores No Recuperables y Factores Recuperables

Factores No Recuperables.

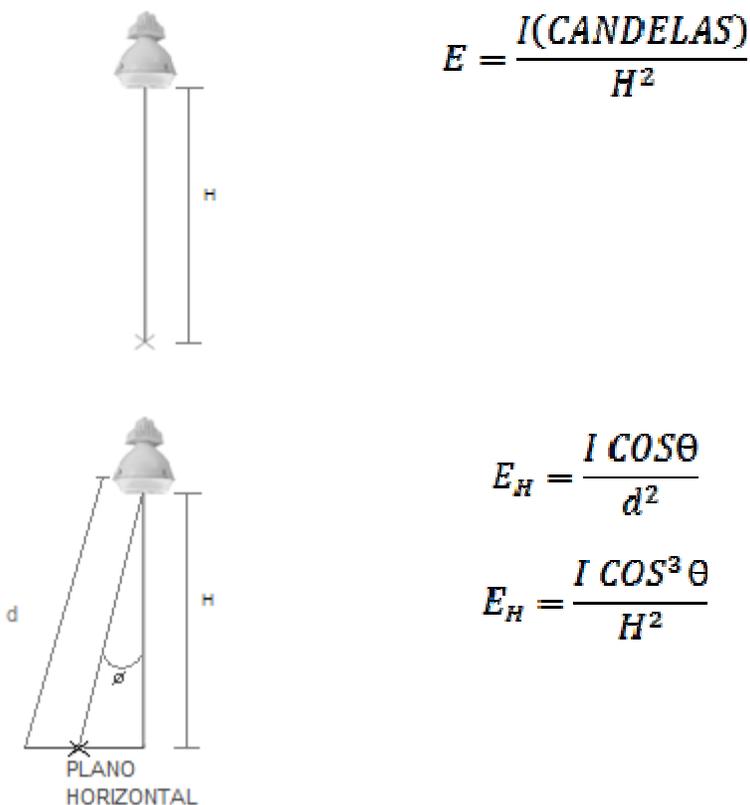
- 1.- Variación de tensión
- 2.- Temperatura ambiente
- 3.- Depreciación por deterioro de las superficies del luminario
- 4.- Factor de balastro

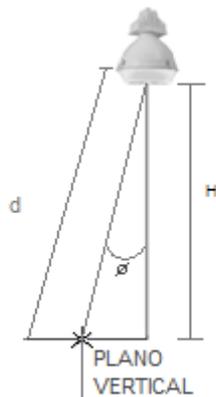
Factores Recuperables.

- 1.- Suciedad acumulada en las superficies del local
- 2.- Lámparas fundidas
- 3.- Depreciación de los lúmenes de las lámparas (L.L.D.) (Lamp Lumen Depreciation)
- 4.- Suciedad acumulada en los luminarios (L.D.D.) (Luminaire Dirt Depreciation)

6.6 MÉTODO PUNTO POR PUNTO.

Este método se utiliza si lo que se desea es conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos, se puede utilizar con cualquier tipo de luminario y con cualquier tipo de lámpara.





$$E_v = \frac{I \text{ SEN } \theta}{d^2}$$

$$E_v = \frac{I \text{ COS}^2 \theta \text{ SEN } \theta}{H^2}$$

Donde:

H = Altura del plano de trabajo a la lámpara (en metros o pies).

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).

E_H = Nivel de iluminación en un punto de una superficie *horizontal* (en lux o footcandles).

E_v = Nivel de iluminación en un punto de una superficie *vertical* (en lux o footcandles).

θ = Ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical que pasa por la luminaria.

**CAPÍTULO
7**

**DISEÑO DEL
LABORATORIO DE
ILUMINACIÓN**

7. DISEÑO DEL LABORATORIO DE ILUMINACIÓN

Este proyecto se divide en tres secciones, en la primera se describe el diseño y los materiales de la plataforma móvil con la cual se probarán los luminarios así como su funcionamiento y las pruebas a realizar, en la segunda sección se describe cada parte del mobiliario necesario para la realización de cada una de las pruebas, y por último se integran todas las partes del laboratorio para dar un ejemplo de su funcionamiento general así como de las ventajas que podría ofrecer a todos los alumnos que cursen la asignatura de Iluminación.

7.1 DISEÑO DE LA PLATAFORMA MOVIBLE PARA EL ESTUDIO DE LOS LUMINARIOS.

El diseño de esta plataforma busca que el alumno interactúe con los luminarios que se están estudiando teóricamente de forma inicial. Así como los efectos lumínicos que intervienen para el diseño, y que al iniciarse en el desarrollo de proyectos de iluminación, es de suma importancia que el alumno tenga a su alcance la mayor cantidad de herramientas práctico-visuales con las cuales comprenda claramente los conceptos abordados y se forme un criterio documentado que le permita ofrecer soluciones destacadas desde el punto de vista técnico-económico en el terreno profesional.

7.2 PROPUESTA DE MATERIALES PARA LA PLATAFORMA:

Movimiento vertical.

- 1) Un motor asíncrono reversible A.C. 220V, 3 fases, 60Hz, 1/2 Hp. Con reductor de velocidad y freno magnético.



Fig. 7.1 Motorreductor con freno.

Características:

a) Inversor del giro.

La inversión de giro para el motor se realiza por medio de contactores.

- **Un sentido de giro.**

Contactor KM1, cuando entra en servicio el contactor las fases de la línea se conectan al motor por este orden L1-L2-L3.

- **Segundo sentido de giro.**

Contactor KM2, cuando entra en servicio el contactor las fases de la línea se conectan al motor por este orden L3-L2-L1.

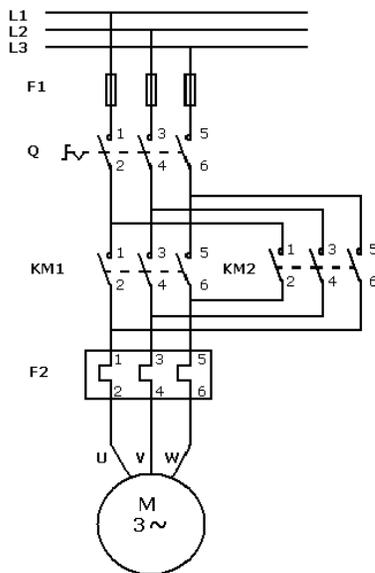


Diagrama. 7.1 Inversor de giro.

Para no provocar un corto circuito, los contactores no funcionan al mismo tiempo, integrando enclavamientos eléctricos en serie con las bobinas de los contactores inversamente.

Inversión de giro: mediante dos pulsadores de marcha (S2 y S3) y paro a través de (F2 ó S1) ambos contactores (K1 Y K2) no pueden funcionar al mismo tiempo, la marcha de un contactor debe pasar por paro para accionarse, Un foco nos alertara en caso de avería.

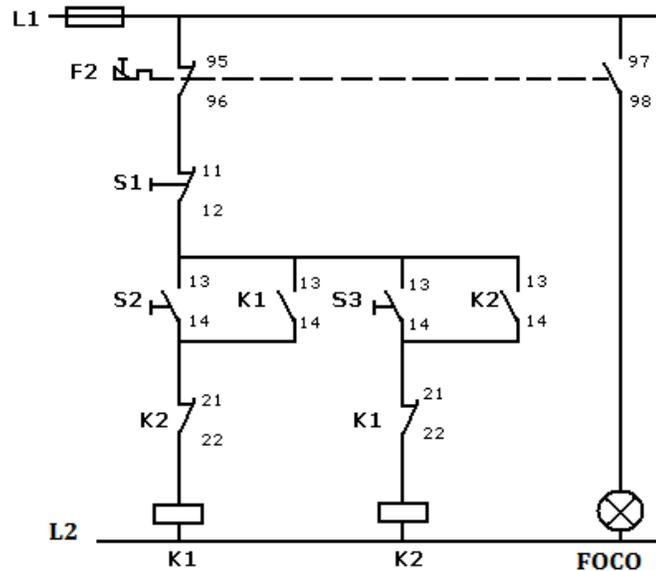


Diagrama. 7.2 Inversor de giro con enclave

b) Reductor de velocidad.

Reductor de velocidad de flecha paralela, velocidad de salida nominal 24rpm, entrada 1725-1750rpm, relación de 71:1.

El reductor es un elemento mecánico básico en la transmisión de movimiento rotativo, disponiendo la velocidad dada por el motor a la velocidad que se precise con la relación de reducción.

$$i = \frac{n}{n_1}$$

Donde:

i = relación de trasmisión

n = velocidad de entrada

n_1 = velocidad de salida

c) Freno electromagnético.

El Freno Electromagnético es un dispositivo Electromagnético-Mecánico cuya función específica es de frenar (desacelerar) la inercia de un motor eléctrico.

Trabaja de tal manera que, desenergizado (estado de reposo) se encuentra "Normalmente Frenado", el torque de frenado se obtiene por la presión mecánica ejercida por los resortes aplicado sobre la placa núcleo, que a su vez ejerce sobre el disco y piñón solidarios al eje del motor eléctrico, al alimentar con energía eléctrica, tanto el freno, como al motor, la bobina del freno genera una fuerza magnética que produce una atracción en la placa núcleo venciendo la presión de los resortes, liberando al disco, y por ende al eje rotor del motor eléctrico.

El estado de energización del Freno Electromagnético a disco es de servicio continuo (S1, funcionamiento continuo con carga constante) debido a que su capacidad de disipación de energía calórica es alta y a su vez cuenta con la refrigeración por aire producida por el ventilador del eje del motor eléctrico.

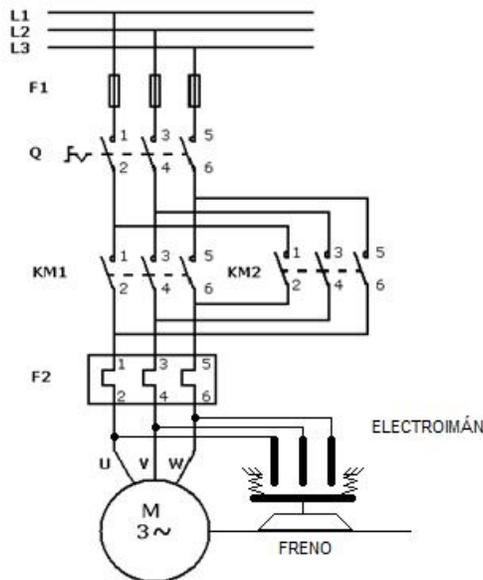


Diagrama 7.3 Freno electromagnético.

- 2) **Sistema de engranaje:** la plataforma incorpora un eje de transmisión de lado a lado de la estructura, ajustado por soportes de rodamiento y en cada punta del eje se requieren engranes cónicos para poder transmitir el movimiento del motorreductor.



Fig. 7.2 Engrane cónico.

Para obtener el movimiento lineal que es necesario para que la plataforma se mueva uniformemente de arriba a abajo se tienen que acoplar husillos en cada extremo de ésta, para que pueda ascender y descender.



Fig. 7.3 Husillo.

- 3) **Construcción del chasis de la plataforma:** La construcción del chasis que soportará todo el sistema se propone sea tubular de acero inoxidable con un diámetro de 1" y placas de acero inoxidable de 5mm.

La unión de todos los elementos y materiales se contemplan en la fig. 7.4

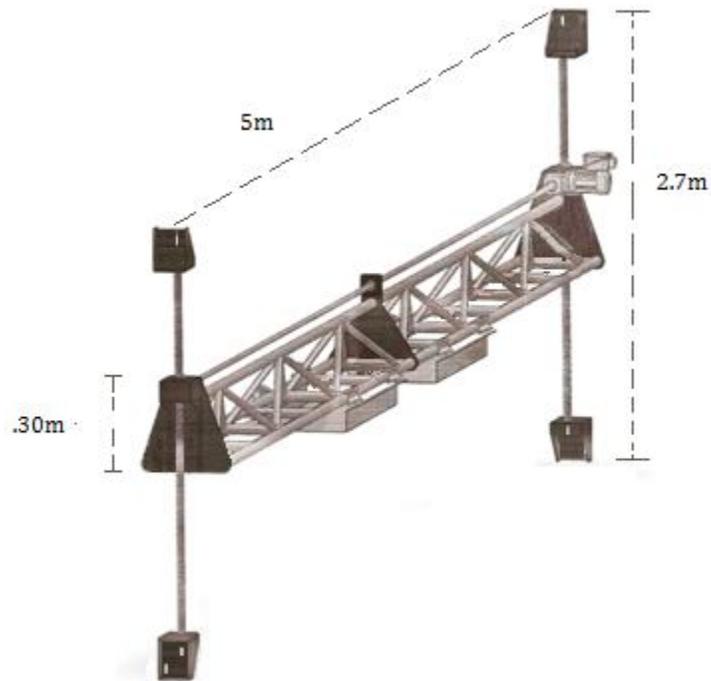


Fig. 7.4 Plataforma móvil.

Movimiento horizontal de los luminarios.

Para el movimiento de apertura y cierre de los luminarios se contemplaron dos motorreductores síncronos reversibles A.C. 220V, 3 fases, 60Hz, 1/6 Hp, que moverán una transmisión de correa dentada conectada al portaluminario.

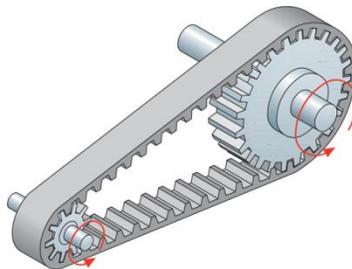


Fig. 7.5 Transmisión por correa dentada.

Al contar con dos motorreductores, los luminarios de prueba podrán separarse entre sí conjuntamente o independientemente.

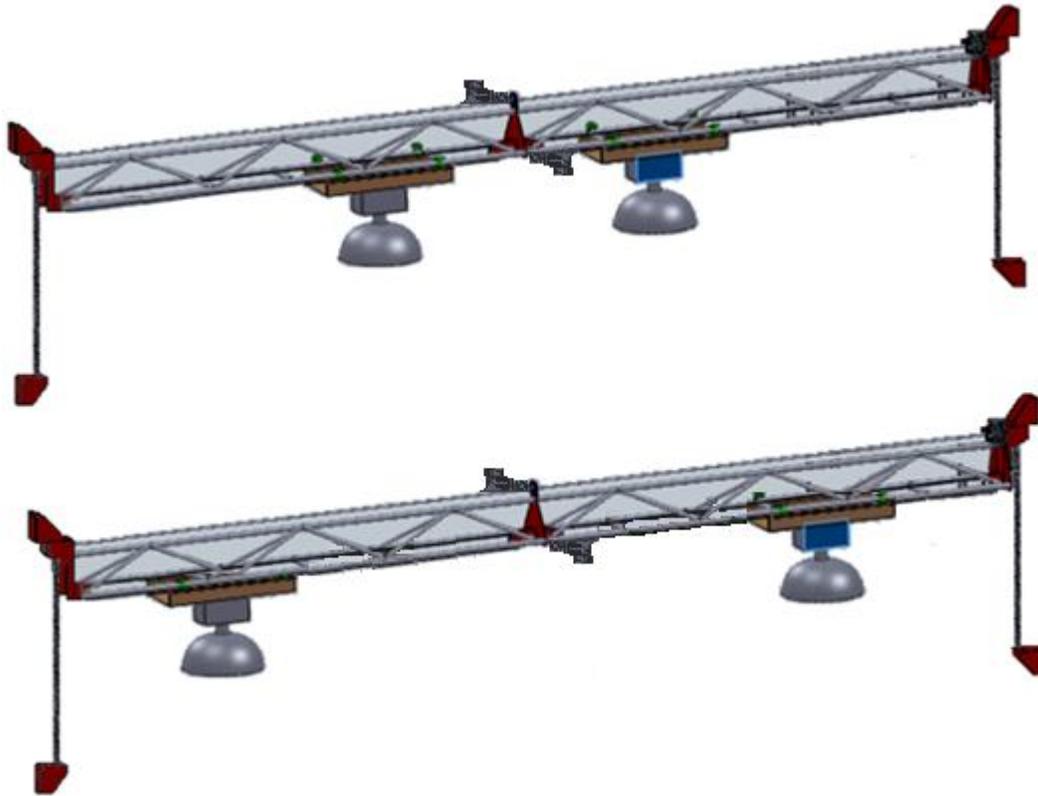


Fig.7.6 Ejemplo de separación de los luminarios.

La sujeción de los luminarios se hará a través de dos tubos, uno dentro de otro instalándole un seguro, esto permitirá que sean intercambiables los luminarios además de tener una fácil manipulación y evitar el campeo del luminario cuando está en movimiento.

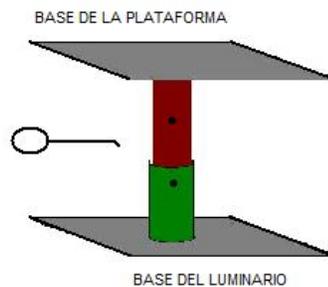


Fig.7.7 Sistema de Sujeción.

En el diseño se contemplaron sistemas que salvaguardan la seguridad de los usuarios y el buen funcionamiento del equipo, como son:

Interruptor de límite: Un interruptor de límite (limit switch ó final de carrera) es un dispositivo que sirve para detectar el límite del recorrido del mecanismo. Cuando este elemento detecta, los contactos o switch mandan la señal al sistema para que este realice la función designada.



Fig.7.8 Interruptor de límite.

Orugas retráctiles para el manejo de los cables de alimentación: cadena portacables utilizada para la organización de cableado en ejes lineales móviles; permite la fácil organización de cable control y/o mangueras utilizados en maquinaria; protege los cables y/o mangueras de posibles puntos de flexión evitando que se doblen.



Fig.7.9 Oruga retráctil para cables.

Botonera: La botonera permite el manejo de la plataforma en sus distintas posiciones, como son paro de emergencia, off-on, arriba-abajo, abrir-cerrar, encendido de lámparas.



Fig.7.10 Botonera.

Clavijas y contactos: la plataforma tendrá un medio de conexión para cada luminario con una tensión 110V, ó 220V, un contacto en la plataforma y una clavija en el luminario.

Las clavijas y contactos contarán con un obturador de seguridad accionado por resorte, expulsa la clavija si esta no ha quedado fija dentro del contacto; el obturador también apaga el arco cuando los dispositivos se conectan o desconectan bajo una carga. La sujeción positiva se obtiene cuando la punta de la clavija se inserta dentro de un seguro en el dispositivo de acoplamiento.



Fig. 7.11 Clavija y Contacto.

Interruptor diferencial: es un dispositivo de protección cuya función es detectar una fuga de corriente, causada por la falta de aislamiento entre un conductor energizado y tierra, interrumpiendo automática e inmediatamente la alimentación, garantizando así la seguridad de las personas.



Fig. 7.12 Interruptor Diferencial.

7.3 CUBO DE LÁMPARAS

Este cubo permite que el alumno interactúe con distintas texturas, colores, acabados, así como también distintos tipos de lámparas, gracias a un sistema de placa movable intercambiable que permite crear combinaciones entre tonos de luz y acabados para visualizar los fenómenos que provoca la combinación de estos.

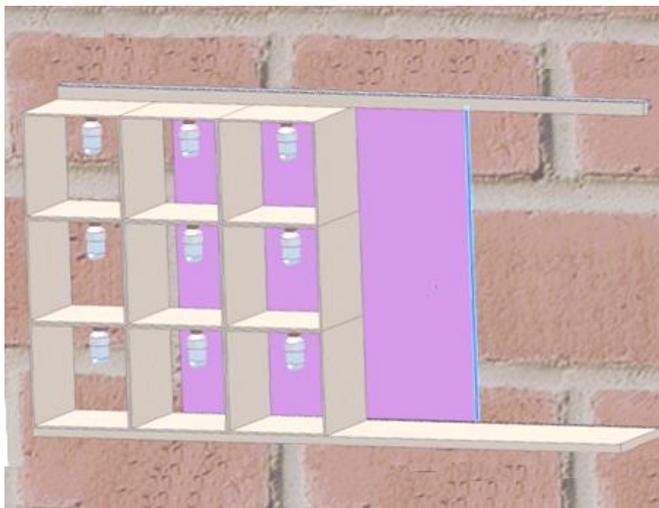


Fig. 7.13 Cubo de Lámparas.

7.4 MOBILIARIO E INSTRUMENTOS.

El mobiliario y su acomodo son parte fundamental de este diseño de laboratorio, el alumno contará con computadora en su mesa de trabajo, de igual manera el profesor además de contar con un proyector, pizarrón, gavetas, mesa de traslado de luminarios.

Los Instrumentos básicos necesarios para el desarrollo de prácticas de iluminación en el laboratorio son lámparas, luminarios y luxómetro.

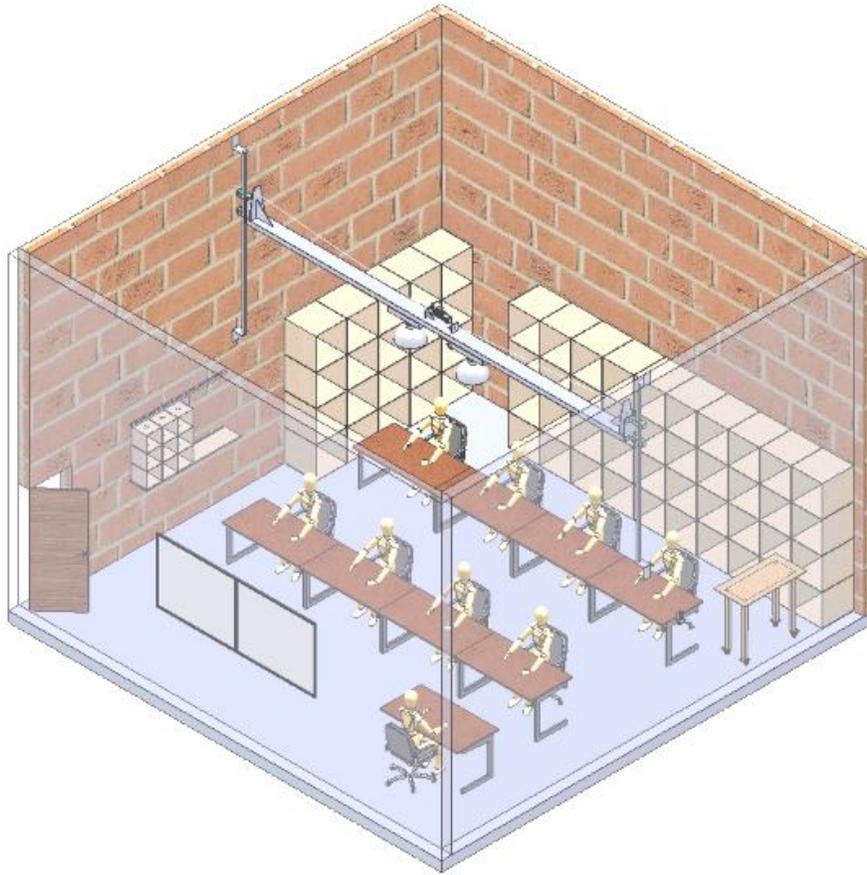


Fig. 7.14 Laboratorio vista general.

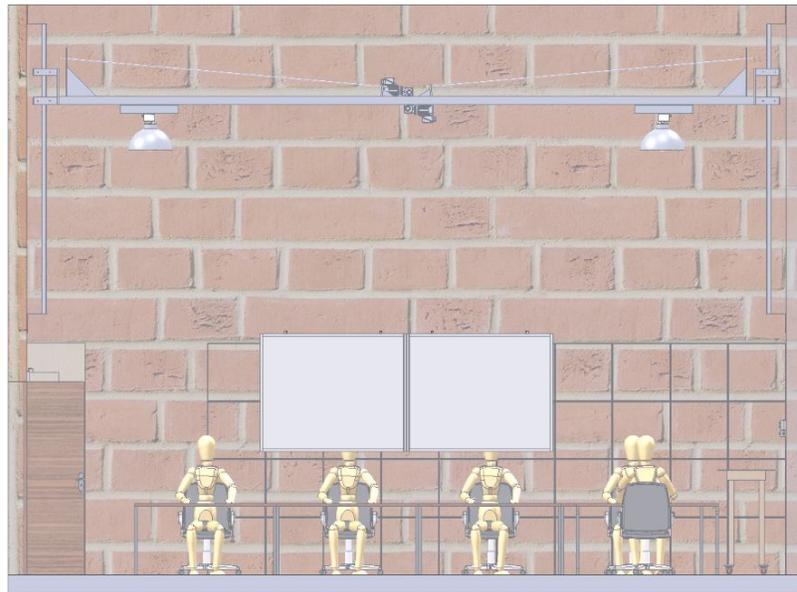


Fig. 7.15 Laboratorio vista frontal.



Fig. 7.16 Laboratorio vista lateral.

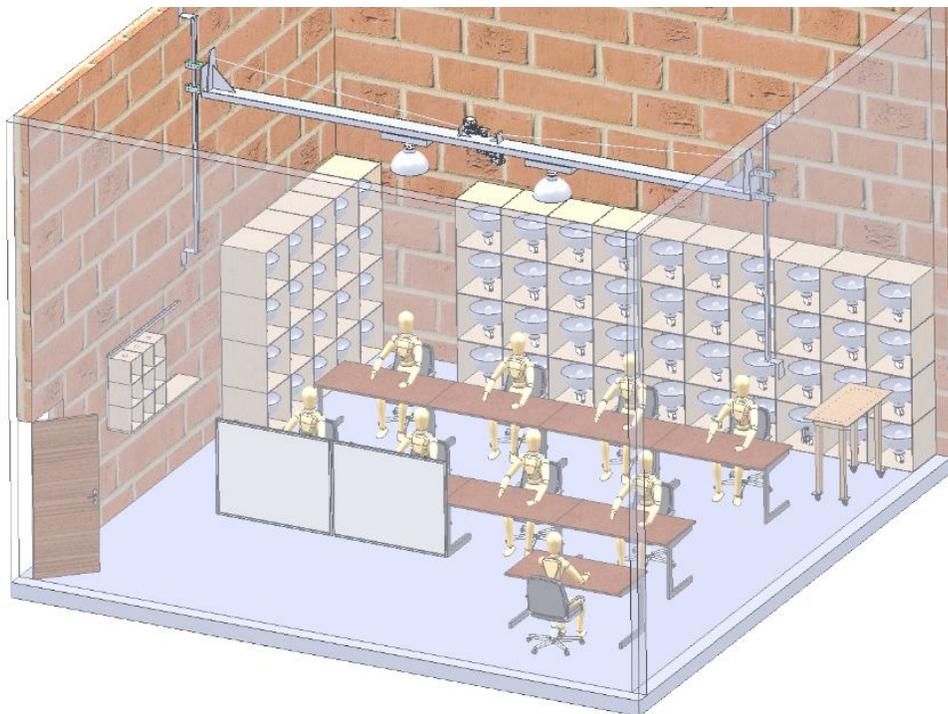


Fig. 7.17 Laboratorio vista general con equipamiento.

7.5 VENTAJAS DEL SISTEMA.

El sistema en su conjunto le permite al profesor mostrar a los alumnos, de una manera interactiva, aspectos tan importantes como las características físicas de las lámparas, tipos de construcción, dispositivos de arranque como los balastos en sus diferentes versiones, su montaje en luminarios, características constructivas y diseños de luminarios, tipos de refractores en sus diferentes acabados, variedad de lentes y los efectos de las distintas fuentes de luz en superficies de acabados diversos.

Cabe destacar que la propuesta incorpora el uso de clavijas y contactos de enchufe rápido asegurado, los cuales nos brindan facilidades para intercambiar luminarios a la vez que nos confiere seguridad en su manejo una vez que el sistema está en movimiento.

Al operar la plataforma de montaje de los luminarios, el alumno tendrá el control del movimiento vertical de modo que podrá apreciar aspectos tan importantes como la influencia de la altura de montaje en un proyecto de iluminación, particularmente en la potencia de la lámpara y el tipo de luminario a emplear.

El alumno a través del control puede modificar la distancia entre luminarios en un desplazamiento horizontal, lo que le permitirá visualizar la uniformidad del nivel de iluminación y el traslape de las curvas fotométricas de los luminarios de prueba.

Además, con esta posibilidad de desplazamiento, se puede ubicar un sólo luminario de forma centralizada para que, con ayuda de un sistema coordinado de puntos, un luxómetro y la definición de un punto origen, se puedan ubicar puntos coincidentes en el nivel de iluminación para con esto, una vez reflejado el comportamiento en los demás cuadrantes, determinar gráficamente la curva isolux del luminario.

Es importante señalar que la logística del laboratorio le permite tanto al profesor como a los alumnos trabajar de manera ordenada y reduciendo al máximo los riesgos de accidente, debido a que incorpora un control del tipo "hombre muerto" que evita el accionamiento si el usuario suelta el control, mesa móvil para el traslado de los luminarios, así como bases de montaje rígidas con pernos de seguridad que evitarán el vaivén del luminario.

Además, en un muro se contempla un panel que nos da la posibilidad de intercambiar superficies con acabados lisos, rústicos, colores varios, texturas, materiales, etc., lo que al alumno le aclara el concepto del efecto de los acabados en los espacios a iluminar y su interacción con los diferentes tonos de lámparas.

Finalmente la interacción de todos los elementos que conforman el laboratorio se constituye en un invaluable apoyo práctico-visual para el alumno, que dará solidez y ampliará sus conocimientos teóricos, a fin de establecer un criterio informado para que, con la ayuda de software especializado le permita ofrecer soluciones reales que conjunten funcionalidad y viabilidad económica.

CONCLUSIONES

El diseño y construcción de esta propuesta de laboratorio reúne características diversas que le permiten al docente explotar los conceptos abordados teóricamente en el aula, de una manera visual-interactiva lo cual es un elemento invaluable y clave para la comprensión de los temas en los alumnos. Esta es una herramienta que le dará al alumno una formación sólida que se traducirá en competitividad en el ámbito profesional, al darle un escenario amplio de posibilidades para ofrecer soluciones que respondan a las necesidades y al presupuesto del cliente.

Cabe destacar que esta propuesta viene a llenar un vacío existente a la fecha, lo que le da un carácter relevante como recurso de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje, particularmente en la asignatura de Iluminación.

Considero que para mejorar la calidad en el proceso de enseñanza, es indispensable ampliar los métodos y recursos disponibles, en algunos casos optimizarlos, para que con sus beneficios se consoliden los objetivos planteados en los temarios de las asignaturas.

Finalmente el observar en las necesidades una oportunidad de aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera, genera múltiples inquietudes que nos permiten ejercitar nuestro ingenio y creatividad para el beneficio común.

BIBLIOGRAFÍA

- ✚ Catálogo Condensado 2001.
HOLOPHANE
- ✚ Conceptos de Iluminación Artificial.
OSRAM
- ✚ Iluminación Interna.
Vittorio Re
Editorial: Marcombo 1989.
- ✚ Manual de Alumbrado Westinghouse.
4ª edición
Editorial: Limusa.
- ✚ Sistemas de Iluminación Industrial.
1ª edición
John P. Frier
Mary E. Gazley Frier
Editorial: Limusa, 1981.
- ✚ Instalaciones Eléctricas de Alumbrado e Industriales.
Fernando Martínez Domínguez
Editorial: Paraninfo, 1998.
- ✚ Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada.
José Roldán Viloría
Editorial: Paraninfo, 2002.

- ✚ HOLOPHANE, Principios de Iluminación.
<http://www.holophane.com.mx> Citado enero 2011.
- ✚ PHILIPS, catálogo general de lámparas y luminarias.
<http://www.philips.com.mx> Citado enero 2011.
- ✚ DIMAR, soluciones en iluminación.
<http://www.dimar-iluminacion.com> Citado enero 2011.
- ✚ OSRAM, catálogo myosram.
<http://www.osram.com.mx> Citado enero 2011.
- ✚ UNAV, tipos de lámparas.
http://www.unav.es/.../manual_archivos/luz9_main.htm Citado enero 2011.
- ✚ GRAINGER, catálogo 2011.
<http://www.grainger.com.mx>. Citado enero 2011.