



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

“LAS LÀMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS
EN EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
PRESENTA:
SANTIAGO RIVERA GUILLERMO G.



FES Aragón

ASESOR: ING. FRANCISCO RAÚL ORTÍZ GONZÁLEZ.

México

2006



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

Primeramente doy gracias a Dios por todas las bendiciones que me ha concedido a lo largo de mi vida.

A mi madre:

Porque me has enseñado, con tu ejemplo a llevar una vida honesta, me has infundido valor para enfrentar los obstáculos de la vida, me has mostrado tenacidad para jamás rendirme, pero sobre todo me has dado tu AMOR.

A mi tío Carlos:

Porque no es padre el que engendra, si el que cría, y tú has sido no sólo un padre, has sido un amigo.

A mi Abuelita Joaquina:

Por todos tus cuidados, tu cariño, tu paciencia y por tomarme de la mano para enseñarme el camino a seguir.

A mis tíos Pedro y Berta, que me han aconsejado para ser cada día mejor, a mis hermanos Beto, Tavo, Ricardo y Chayo, por ser un motivo para seguir adelante; a mi abuelo Trinidad; a mi tía Inés; a mis primos Arturo, Ana Lucía, Tere y Vanessa; a mi prima Rosa y toda su familia; a mis sobrinos “el perico”, “la pato”, Josué, Milca, Jael, por alegrar mi vida con sus travesuras; a mis amigas Licha y Estela, por su confianza y paciencia; a Milca Trujillo, por enseñarme a soñar; a mis tíos Gerardo e Irene, mi primo Gerardo, Pilar y mis sobrinos Carlos y Daniela por su confianza, su tiempo y todas sus atenciones; a mi amigo Gabriel Guerrero, gracias por tu apoyo.

Al Ingeniero Raúl, a su esposa, a mis sinodales y todos los profesores que me han compartido sus conocimientos.

A todas las personas que a lo largo de mi vida han contribuido a mi crecimiento como ser humano y a mi formación como profesionalista, mi más sincero agradecimiento.

Contenido general

	Página
Contenido temático	<i>ii</i>
Introducción.....	I
Capítulo I	
El desarrollo de la energía eléctrica.....	1
Capítulo II	
La iluminación.....	27
Capítulo III	
Lámparas fluorescentes compactas.....	51
Capítulo IV	
Casos de aplicación.....	60
Conclusiones.....	75
Bibliografía.....	76
Catálogos de lámparas	78
Mesografía.....	79
Anexo de Luminotécnia	88

Contenido temático

Introducción.....I

Capítulo I

El desarrollo de la energía eléctrica

I.1 . Antecedentes históricos de la electricidad.....1

I.2. Voltaje y corriente eléctrica.....4

I.2.1. Voltaje.....4

I.2.2. Corriente eléctrica.....5

I.3. La energía eléctrica.....6

I.3.1. Generación de energía eléctrica.....7

I.3.1.1. Condiciones.....14

I.3.2. Transmisión.....14

I.3.3. Distribución.....15

I.3.3.1. Sistemas de distribución.....16

I.3.3.2. Elementos que componen un sistema de distribución.....17

I.4. Usos de la energía eléctrica.....18

I.5. Leyes que rigen a la electricidad.....19

I.5.1. Ley de las cargas.....20

I.5.2. Ley de Coulomb.....21

I.5.3. Ley de Faraday - Henry.....21

I.5.4. Ley de Amper – Maxwell.....22

I.5.5. Ley de Lenz.....23

I.5.6. Ley de Ohm.....23

I.5.7. Efecto Joule.....23

I.5.8. Factor de potencia.....24

I.5.9. Leyes de Kirchhoff.....25

Capítulo II

La Iluminación

II.1. Naturaleza de la luz	27
II.1.1. Características de la energía radiante.....	28
II.1.2. Luz visible.....	30
II.1.3. Fuentes de luz.....	30
II.1.4. Luz infrarroja y ultravioleta.....	32
II.2. Conceptos de iluminación	33
II.3. Leyes de la Luminotecnia	42
II.4. Luz y Materia	44
II.5. El ojo humano	48
II.5.1. Adaptación.....	50
II.5.2. Acomodación.....	50

Capítulo III

Lámparas fluorescentes compactas

III.1. Tipos de lámparas	51
III.2. Antecedentes	53
III.3. Construcción	53
III.3.1. Conformación del tubo fluorescente.....	53
III.3.2. Partes que conforman a una lámpara fluorescente compacta.....	54
III.4. Funcionamiento	54
III.5. Tipos	56
III.6. Ventajas y desventajas	57
III.6.1. Ventajas.....	57
III.6.2. Desventajas.....	57

Capítulo IV

Casos de aplicación	
IV.1. Nivel de iluminación	60
IV.2. Lámparas	61
IV.3. Luminarias	61
IV.4. Métodos de iluminación	62
IV.4.1. Alumbrado general.....	62
IV.4.2. Alumbrado general localizado.....	63
IV.4.3. Alumbrado suplementario.....	63
IV.5. Color	63
IV.6. Mantenimiento	64
IV.7. Coeficiente de utilización	64
IV.8. Reflexión	64
IV.9. Métodos de cálculo	66
IV.9.1. Método de cavidad zonal.....	66
IV.9.1.1. Caso Práctico	68
IV.9.2. Método de punto por punto.....	70
IV.9.2.1. Caso práctico	71
Conclusiones.....	75
Bibliografía.....	76
Catálogos.....	78
Mesografía.....	79
Anexo.....	80

Introducción.

A través de su historia la humanidad ha enfrentado muchas y muy diversas necesidades, una de las más antiguas ha sido el poder contar con luz que ilumine sus distintas áreas de trabajo y así poder realizar sus diferentes actividades.

La luz es un elemento muy importante para el ser humano, pero no se trata solo de iluminar, es necesario contar con la cantidad y el tipo adecuado para cada actividad que realice el ser humano.

Un obstáculo que hay que enfrentar al hablar de luz es de donde obtenerla y a que precio. La luz que proporciona el Sol es limpia y gratuita, pero solo se dispone de ella durante el día, y a pesar de que actualmente se le puede almacenar en celdas solares, dicho proceso resulta costoso y difícil el poder trasladar esa luz almacenada hasta cada uno de los lugares donde ha de utilizarse.

Existen varias formas de iluminar un lugar o espacio, siendo la forma más usual mediante la energía eléctrica.

La energía eléctrica actualmente enfrenta una gran problemática, por ser un tipo de energía muy versátil (se puede usar en diversos quehaceres del saber humano); pero al mismo tiempo esa versatilidad hace que cada día tenga una mayor demanda y conforme aumenta dicha demanda, disminuyen los recursos naturales que se emplean en la producción de energía eléctrica.

La problemática que existe en la energía eléctrica hace urgente el diseñar sistemas de iluminación cada vez más eficientes, es decir, sistemas

que consuman poca energía eléctrica, y conviertan dicha energía en una gran cantidad de luz.

El presente trabajo tiene como objetivo principal presentar los principios básicos de la iluminación para poder comprender como funciona un sistema de iluminación y de esa forma poder diseñar sistemas de iluminación que cumplan su objetivo que es: el de crear ambientes agradables y confortables con la cantidad de luz y el tipo adecuado para que el ser humano realice sus distintas actividades sin fatiga visual.

El primer capítulo trata sobre la Electricidad, desde aspectos históricos, pasando por explicar el proceso que se sigue en México para poder disponer de esta tan importante forma de energía, hasta llegar a mencionar algunas de las leyes que existen en esta tan importante rama del saber humano.

En el segundo capítulo se tratan los aspectos básicos de la iluminación, como lo son: las teorías que han tratado de explicar el origen, naturaleza y comportamiento de la luz, los conceptos que de ella se derivan, algunas de las más importantes leyes que existen en la Luminotécnica, los fenómenos que acompañan a la luz. Así mismo expone aspectos referentes al proceso de la visión humana.

El tercer capítulo presenta algunos tipos y modelos de lámparas de dos de las marcas más importantes a nivel mundial: Osram y Philips. Así mismo expone aspectos referentes a las lámparas fluorescentes compactas, como son: su historia, constitución

física, ventajas y desventajas, la aplicación correcta que se puede dar a este tipo de lámparas.

Por último el cuarto capítulo expone algunos de los diversos y numerosos aspectos que se deben considerar al diseñar un sistema de iluminación y presenta dos casos prácticos en los cuales se utilizan lámparas fluorescentes compactas.

Capítulo I.

El desarrollo de la energía eléctrica.

I.1. Antecedentes históricos de la electricidad

Al inicio de la historia de la humanidad el hombre carecía de conocimiento para entender los fenómenos naturales. Al no entenderlos, los pueblos comenzaron a crear seres divinos y atribuirles poderes fabulosos, esas deidades creadas por los pueblos eran precisamente las responsables de los fenómenos que observaban y los consideraban un castigo, fue por ello que construyeron grandes templos en honor a sus dioses para mantenerlos contentos y no ser castigados por su ira. Pero mientras algunos creaban dioses para explicar lo que sucedía a su alrededor, otros se esforzaban por entender el origen y comportamiento de dichos fenómenos, los resultados de dichas investigaciones se convirtieron en las bases del conocimiento estructurado que hoy en día existe.

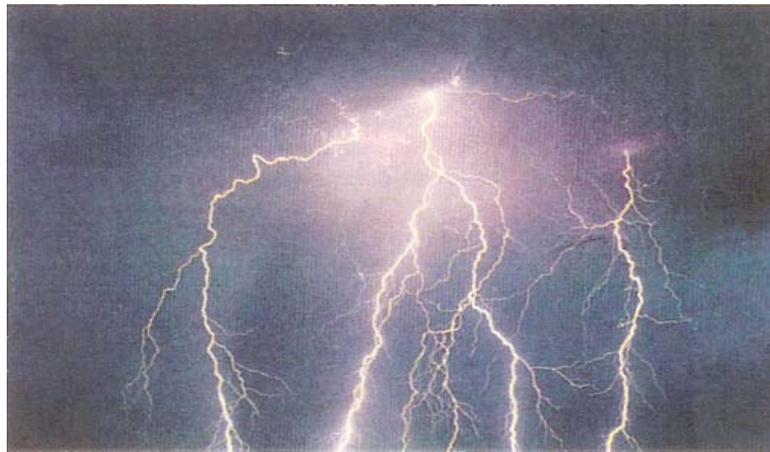


Imagen de un rayo.

En el campo de la electricidad han sido muchos los científicos que han contribuido al entendimiento de este campo tan importante, que ha servido para el desarrollo de otros más del saber humano.

Tales de Mileto, alrededor del año 600 a.C., descubrió que al frotar el ámbar con una piel de gato, podía atraer algunos cuerpos ligeros como el cabello y la paja.

Otto de Guericke, físico alemán (1602 – 1686), fue el constructor de la primera máquina eléctrica, consistía en frotar una bola de azufre que al girar producía chispas eléctricas.

Pieter Van Musschenbroek (1692 – 1761), descubrió la condensación eléctrica utilizando la botella de Leyden. Éste fue el primer condensador eléctrico, consistía en una botella de vidrio (aislante dieléctrico) y dos armaduras: la exterior que es un forro o revestimiento metálico y la interior que esta constituida por un relleno de papel metálico

y que se extiende al exterior por medio de una varilla metálica que atraviesa un tapón de corcho.



Imagen de la botella de Leyden.

Benjamín Franklin (1706 – 1790), encontró que un conductor con carga negativa que termina en punta concentra en esa parte a los electrones y por repulsión abandonan la punta fijándose en las moléculas del aire o sobre algún conductor eléctrico que se encuentre cercano a él y este carente de electrones. Así mismo un conductor con carga positiva atrae electrones por la punta desprendiéndolos de las moléculas del aire.

El descubrimiento de Franklin es el principio bajo el cual funcionan los pararrayos que son usados en la protección de edificaciones.

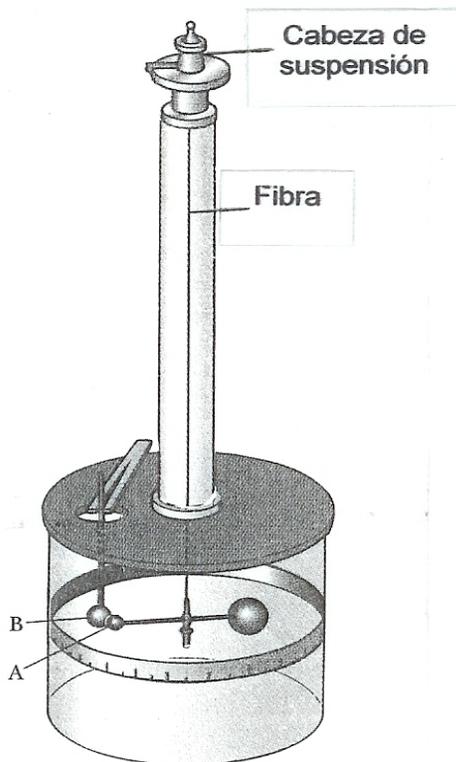
Por su parte el francés Charles Coulomb (1736 – 1806), descubrió las leyes de atracción y repulsión entre cargas eléctricas, esto con ayuda de lo que se conoce como la balanza de torsión, su experimento consistió en colocar una esfera con carga eléctrica a diferentes distancias de otras esferas, también con carga eléctrica y determinó la fuerza de atracción o de repulsión (dependiendo del signo que poseían las cargas eléctricas), al medir el retorcimiento de una fibra fina y rígida.

Alessandro Volta, físico italiano (1745 – 1827), contribuyó en gran manera al estudio de la electricidad produciendo la primera pila eléctrica, la cual consistía en combinar dos metales distintos sumergidos en un líquido que servía como conductor.

El físico alemán Georg Ohm (1789 – 1854), descubrió el comportamiento de la resistencia eléctrica de los conductores y estableció la ley fundamental de las corrientes eléctricas, esto al descubrir la relación que existe entre la resistencia de un conductor, el voltaje que se le aplica y la corriente que circula a través de él.

El danés Hans Oersted, alrededor de 1820, descubrió que al aplicar corriente eléctrica a un conductor se producía un campo magnético, fue así como se descubrió que la electricidad y el magnetismo estaban relacionados.

Michael Faraday, físico inglés (1791 – 1867), trabajó en forma opuesta a Oersted y encontró que los campos magnéticos pueden producir corriente eléctrica, esto es lo que se conoce como la “Ley de Faraday”.



Balanza de torsión de Coulomb, la cual se usó para establecer la ley de inverso al cuadrado para la fuerza electrostática entre dos cargas.

Imagen de la balanza de Torsión de Coulomb.

James Maxwell, matemático escocés (1831 – 1879), resumió todas las leyes, que hasta ese momento se conocían, en una serie de ecuaciones conocidas hoy en día como las “Leyes de Maxwell”, con estas ecuaciones se sentaron las bases del

electromagnetismo y se predijeron muchos fenómenos electromagnéticos que posteriormente habrían de ser comprobados en los laboratorios.

Todos los descubrimientos antes mencionados y otros más son los que han llevado al entendimiento y control del electromagnetismo y por consecuencia tener el mundo de la electricidad que hoy en día se conoce.

I.2. Voltaje y corriente eléctrica

I.2.1. Voltaje

La electricidad es una de las tantas formas de energía que existen y consiste, básicamente, en el movimiento de cargas eléctricas. Charles Coulomb descubrió que para que existan cargas eléctricas en movimiento se requiere de una fuerza que sea capaz de producir ese movimiento.

Cuando se trata solo de dos cargas, la fuerza que hace que se muevan será la de atracción o repulsión (dependiendo de la polaridad de las propias cargas), pero cuando se trata de un material donde existen un gran número de cargas, tanto positivas como negativas, la fuerza que hace que se muevan dichas cargas se conoce como voltaje o diferencia de potencial.

El trabajo realizado por una fuerza sobre un cuerpo es igual al producto de la fuerza por el desplazamiento del cuerpo¹, esto cuando la fuerza y el desplazamiento tienen la misma dirección.

$$W = F \times d$$

Donde:

$$W = \text{Trabajo, en Joules (J)}$$

$$F = \text{Fuerza, en Newton (N)}$$

$$d = \text{Distancia, en metros (m)}$$

La electricidad consiste en movimiento de cargas, en base a esto y a la definición de trabajo. El trabajo que se realiza para desplazar una carga eléctrica de un punto "a" a un punto "b" por unidad de carga es lo que se define como **potencial eléctrico, fuerza electromotriz (fem), o voltaje (V_{AB})**, y se denota como:

$$V_{ab} = V_a - V_b = \frac{W_{ab}}{q}$$

¹ Física, Mecánica y Termodinámica. Alonso/Rojo. Fondo Educativo Interamericano.

Donde:

V_{ab} = Diferencia de potencial o voltaje, en volts (V)

W_{ab} = Trabajo, en Joules (J)

q = Carga eléctrica, en coulomb (C)

La unidad de medida de la diferencia de potencial o voltaje es el volt (V) y esta definido como:

$$1\text{volt} = \frac{1(\text{Joule})}{1(\text{Coulomb})}$$

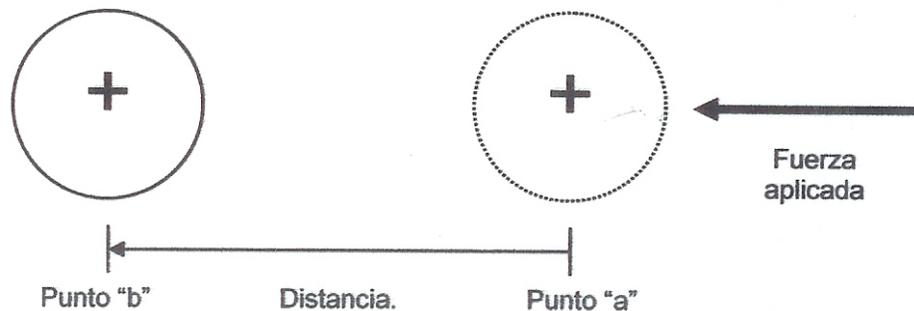


Ilustración del voltaje.

Sin la existencia del voltaje no sería posible el movimiento de cargas y la electricidad como se conoce hoy en día, simplemente no existiría.

I.2.2. Corriente eléctrica

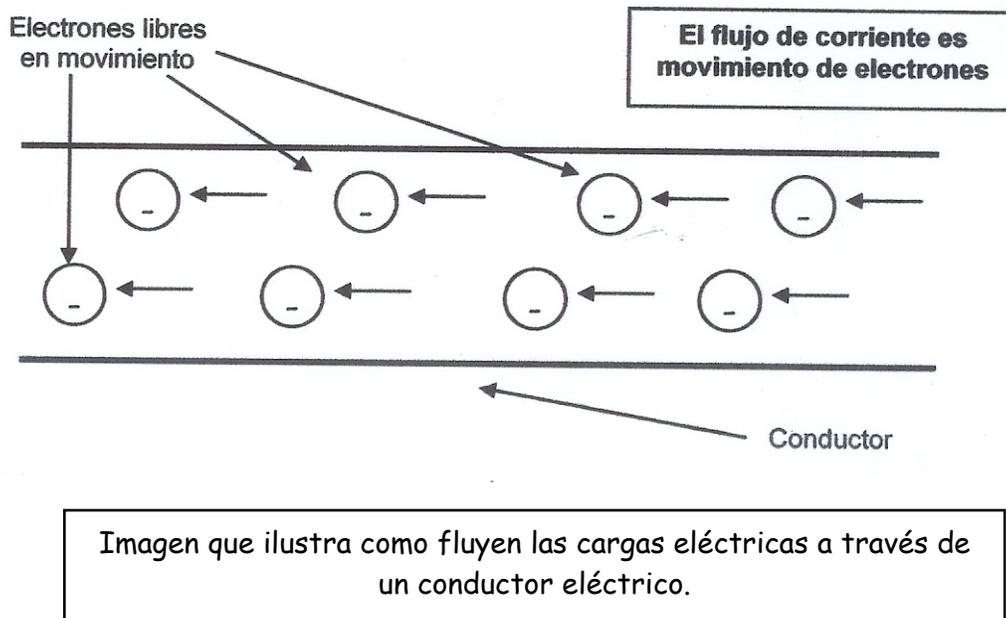
El voltaje es el responsable de que las cargas se muevan, pero el objetivo de aplicar un voltaje a un circuito eléctrico no es solo lograr que las cargas entren en movimiento, lo que se busca es lograr un flujo constante de cargas eléctricas a través de todo el circuito, a ese flujo de cargas eléctricas es a lo que se le denomina **corriente eléctrica**.

La corriente eléctrica es la cantidad de cargas eléctricas que fluyen a través de los conductores por unidad de tiempo. Para medir dicho fenómeno se utiliza el amper (A) como unidad de medida.

$$\text{Corriente eléctrica} = \frac{\text{Número de cargas eléctricas}}{\text{Tiempo}}$$

$$1 \text{ Amper} = \frac{1(\text{Coulomb})}{1(\text{segundo})}$$

De lo anterior se observa que un amper es equivalente al flujo de un coulomb en un segundo y dado que un coulomb contiene 6.25×10^{18} cargas elementales (sean electrones o protones), un amper es el flujo de 6.25×10^{18} cargas elementales en un segundo.



I.3. La energía eléctrica

En la actualidad se conocen varias formas de energía, de todas ellas la electricidad es la más usada a nivel mundial. La popularidad de la energía eléctrica se debe a que es una forma de energía limpia, que no daña al medio ambiente, fácil de emplear y fácil de transformar en otras formas de energía como es el calor, el movimiento y por supuesto la luz artificial. Pero para poder disponer de energía eléctrica se requiere pasar por un complejo proceso de transformación, ya que no existen yacimientos o fuentes que proporcionen electricidad en forma directa.

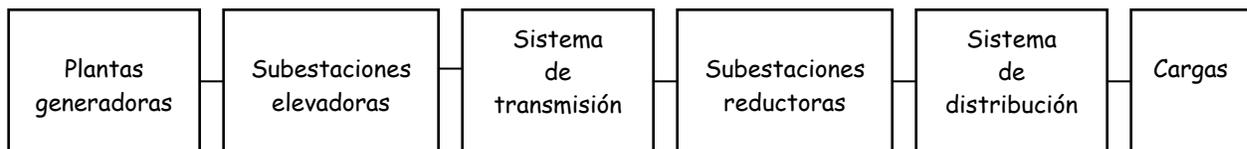
En México para obtener energía eléctrica es necesario explotar y transformar otras formas de energía, tales como: corrientes de ríos, gas, carbón, combustóleo, diesel, la

fuerza del viento y la energía solar. A este proceso de transformación es a lo que se le llama **“Generación de energía eléctrica”**.

Una vez que se logra la obtención de energía eléctrica surge la necesidad de llevarla hasta cada uno de los lugares donde ha de ser empleada, es por ello que se requiere contar con una forma eficiente de transporte para dicha energía. Es a esta etapa a la que se le conoce como **“Transmisión”**.

Las comunidades en las que esta agrupada la humanidad van desde comunidades muy pequeñas hasta grandes ciudades dentro de las cuales existen fábricas, centros de comercio, centros de recreación, viviendas, y todos aquellos lugares que requieren de energía eléctrica para poder realizar sus actividades, pero no todos requieren la misma cantidad y no a todos se les puede suministrar la energía de la misma forma, para controlar la cantidad y forma de suministro se requiere contar con un sistema de **“Distribución”**.

Para poder utilizar la energía eléctrica en México se requiere contar con centrales generadoras, líneas de transmisión y un sistema de distribución. El conjunto de estos tres elementos es lo que se conoce como Sistema Eléctrico Nacional (SEN).



Representación esquemática de un sistema de energía eléctrica.

I.3.1. Generación de energía eléctrica

La obtención de la energía eléctrica se hace a través de grandes máquinas llamadas “Generadores eléctricos”. La energía eléctrica obtenida de dichos generadores es del tipo corriente alterna (C. A.) trifásica, ya que produce tres flujos de corriente eléctrica, cada uno de los cuales recibe el nombre de fase y viajan por conductores diferentes según la capacidad del generador.

En las centrales de generación eléctrica los generadores se encuentran acoplados a turbinas, y son las turbinas las que son puestas en movimiento por medio de alguna fuerza motriz como puede ser: la caída de algún río, vapor a muy alta presión.

Las centrales generadoras de energía eléctrica son clasificadas precisamente de acuerdo a la fuente de energía que utilizan como fuerza motriz. En México los tipos de centrales más importantes que existen en operación son las siguientes:

Centrales Termoeléctricas.- Este tipo de centrales se clasifican como se muestra a continuación:

1. Termoeléctricas de combustibles fósiles.

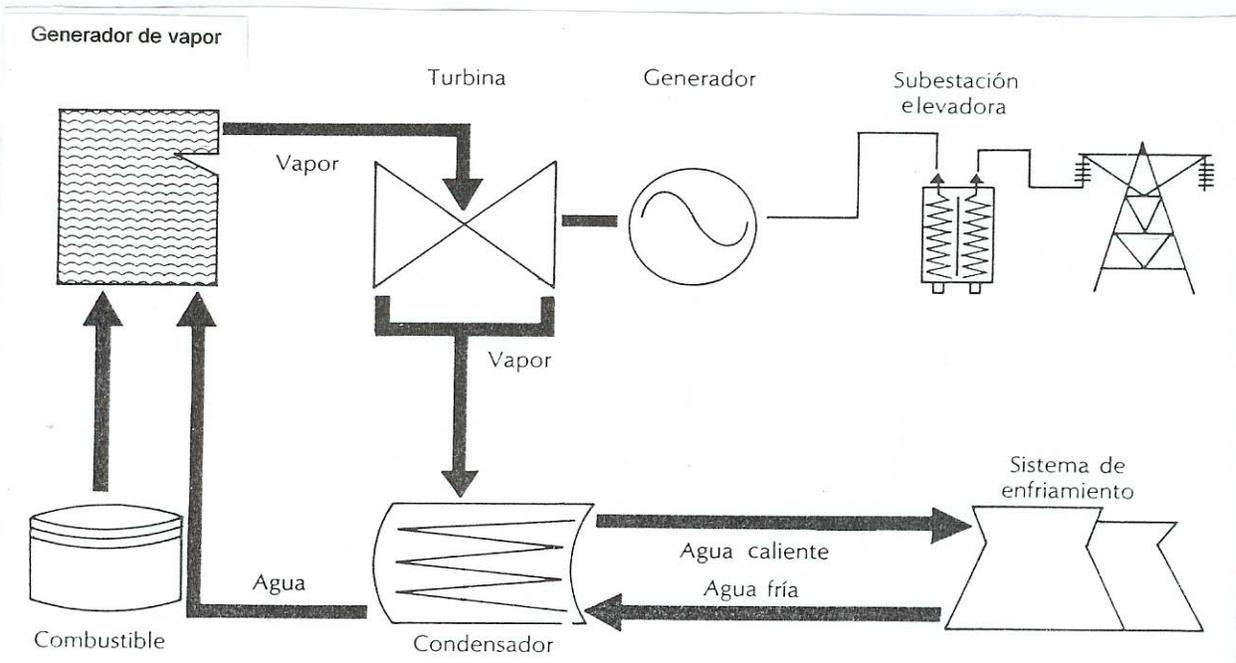
- a) Vapor convencional.
- b) Carbón.
- c) Dual.
- d) Turbogas.
- e) Ciclo combinado.
- f) Combustión interna.

2. Geotermoeléctricas.

3. Nucleoeléctricas.

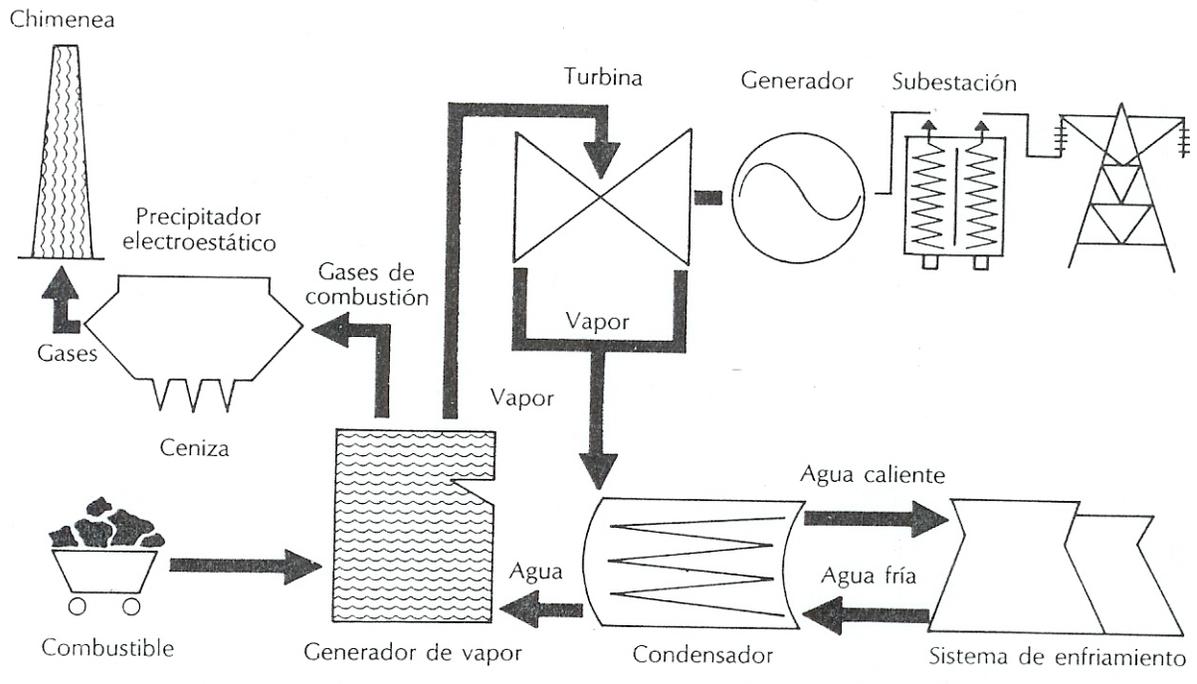
1. Termoeléctricas de combustibles fósiles.

- a) Vapor convencional.- Este tipo de plantas utilizan como fuente de energía primaria el combustóleo.



Esquema de una central de vapor convencional.

- b) Carboeléctrica.- Como su propio nombre lo indica, la fuente de energía primaria que utilizan este tipo de centrales es el carbón mineral bajo en azufre.



Esquema de una central Carboceléctrica.

- c) Dual.- Este tipo de plantas utilizan combustóleo pero también carbón mineral bajo en azufre.

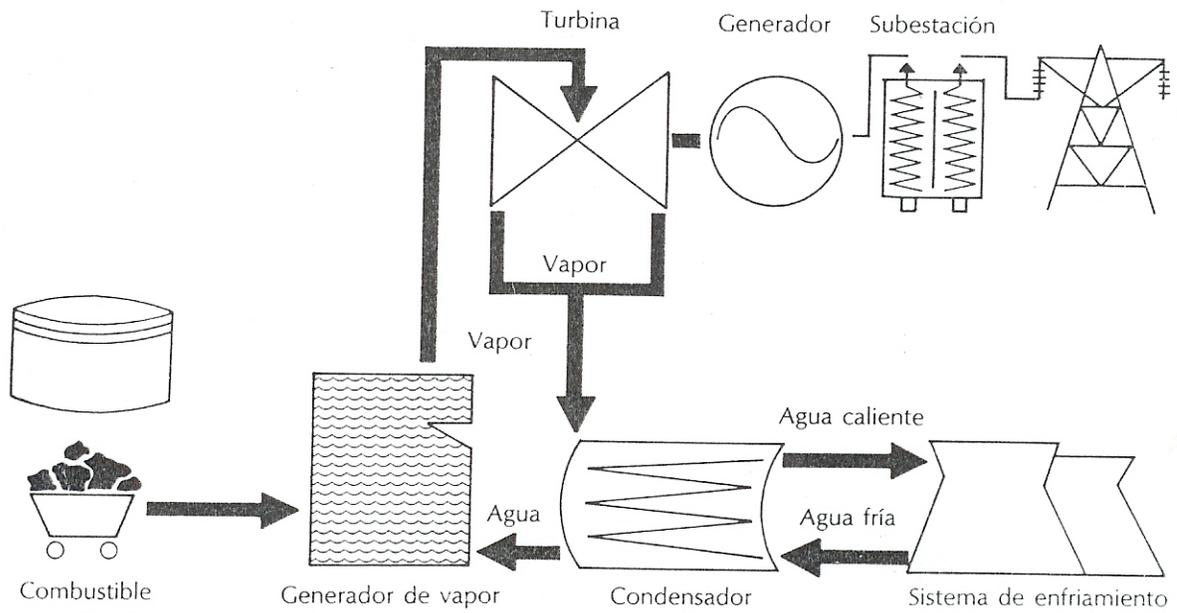
En las tres centrales antes descritas el combustible empleado sirve para calentar agua en calderas y así obtener vapor a muy alta temperatura y presión. Dicho vapor es el que se utiliza para accionar la turbina, y por consecuencia el generador eléctrico.

- d) Turbogas.- En estas centrales se utiliza la energía cinética que resulta de la expansión de aire y gases de combustión, comprimidos y a altas temperaturas. Dicha energía cinética es la que acciona la turbina y por consecuencia el generador eléctrico.

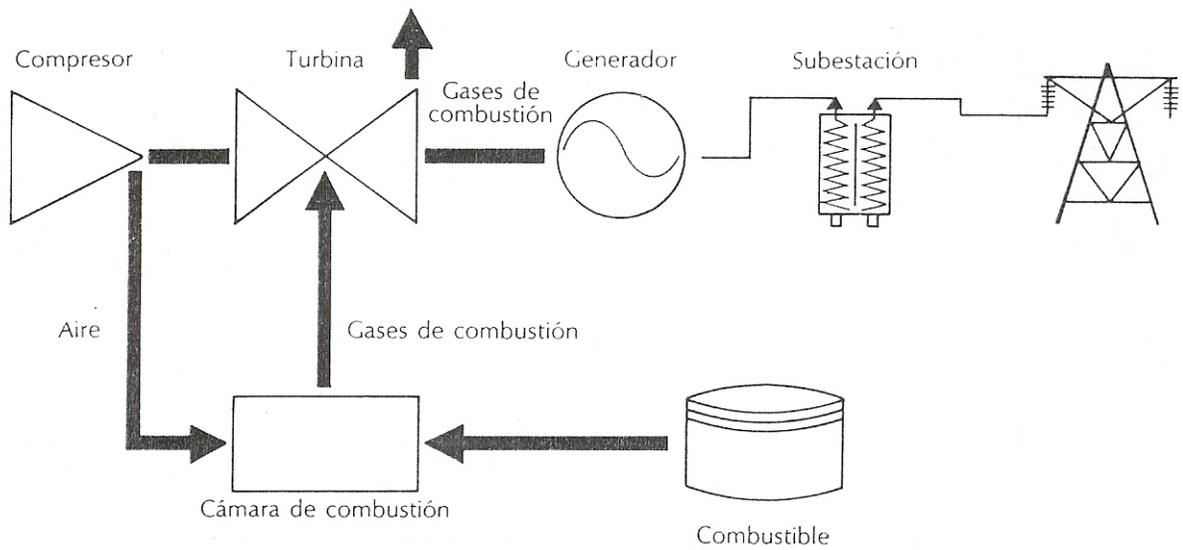
Esta central emplea gas natural o diesel y los modelos más avanzados pueden quemar también combustóleo o petróleo crudo.

- e) Ciclo combinado.- Este tipo de centrales están compuestas por dos unidades de generación diferentes: turbogas y vapor.

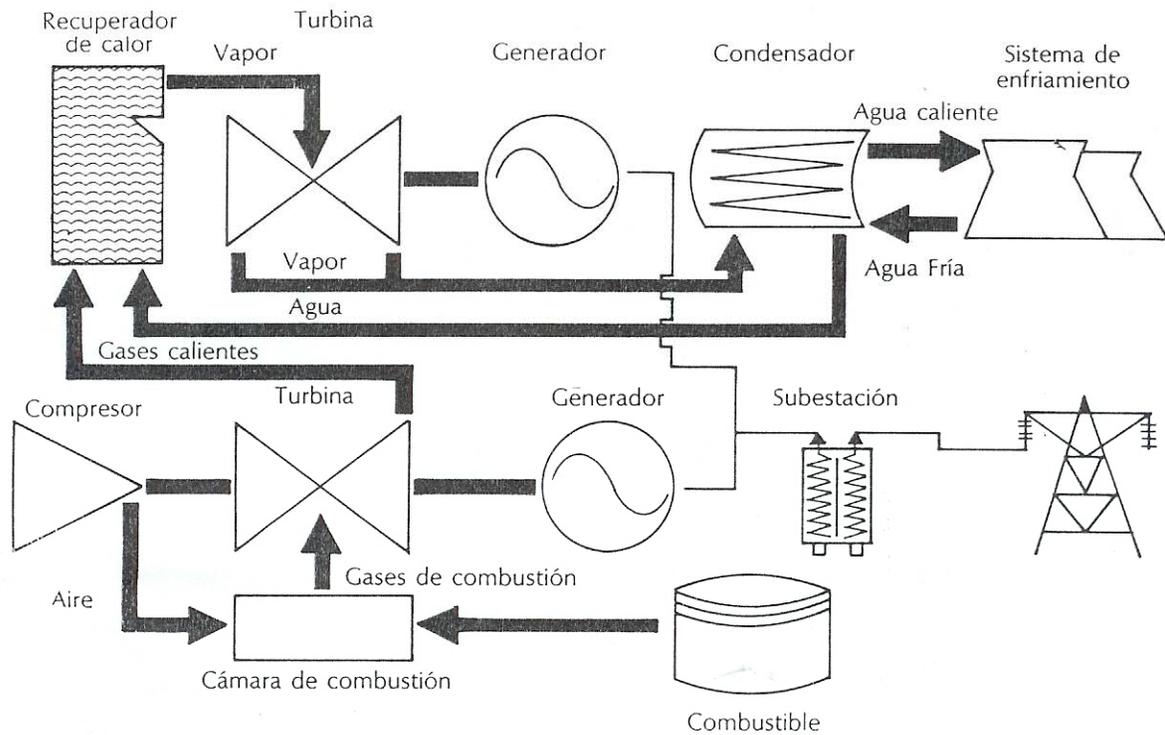
El proceso consiste en accionar la unidad de turbogas y los gases ya utilizados se recuperan para utilizarlos en la unidad de vapor.



Esquema de una central Dual.



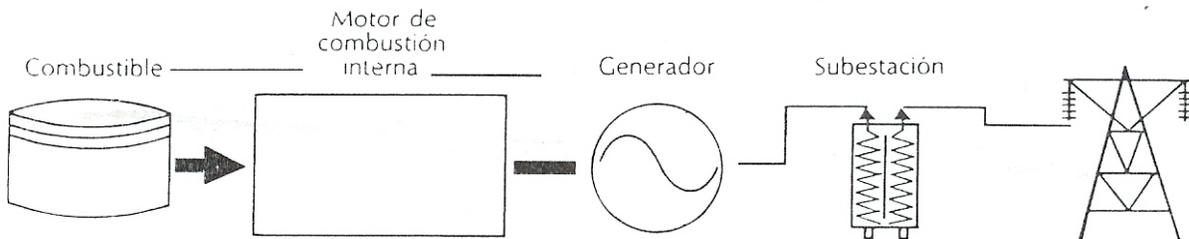
Esquema de una central de turbogas.



Esquema de una central de ciclo combinado.

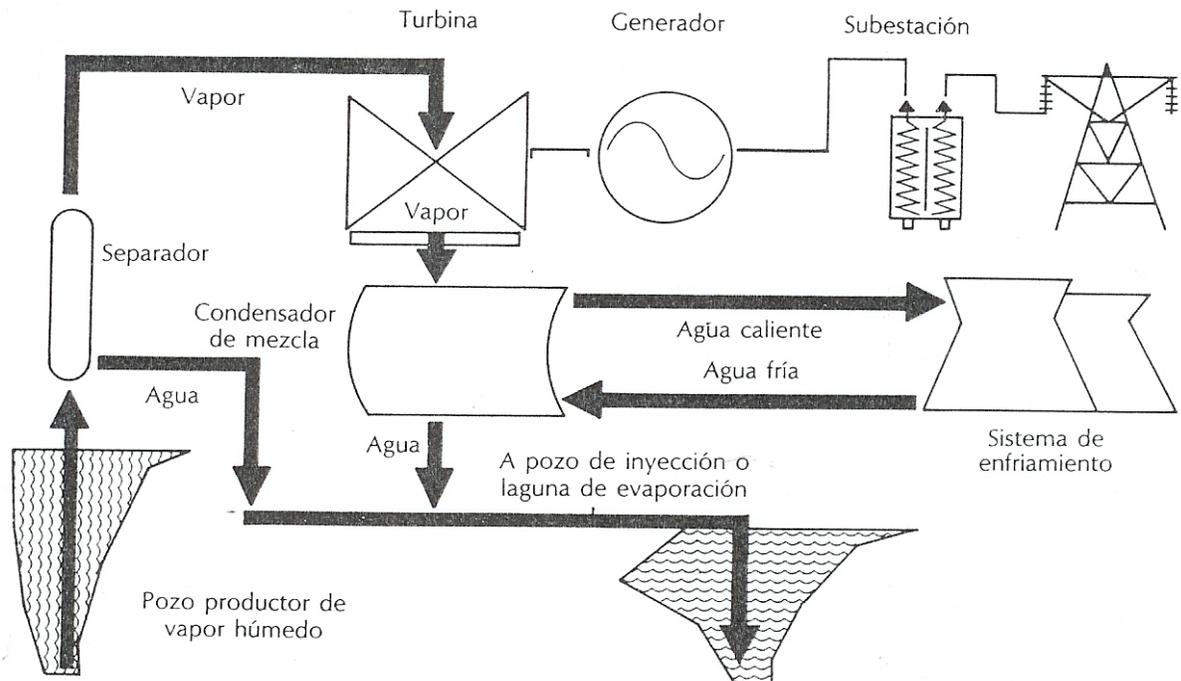
f) Combustión interna.- Estas centrales utilizan la expansión de los gases de combustión para obtener energía mecánica la cual es transformada en energía eléctrica en el generador.

Este tipo de centrales utilizan combustóleo en forma pura o mezclado con diesel.



Esquema de una central de combustión interna.

2. Geotermoeléctricas.- Una central de este tipo es una central térmica donde la caldera y el combustible son sustituidos por yacimientos de magma provenientes del interior del planeta Tierra. Dichos yacimientos son los que proporcionan el calor que se emplea para la obtención de vapor que será el encargado de mover la turbina acoplada al generador.



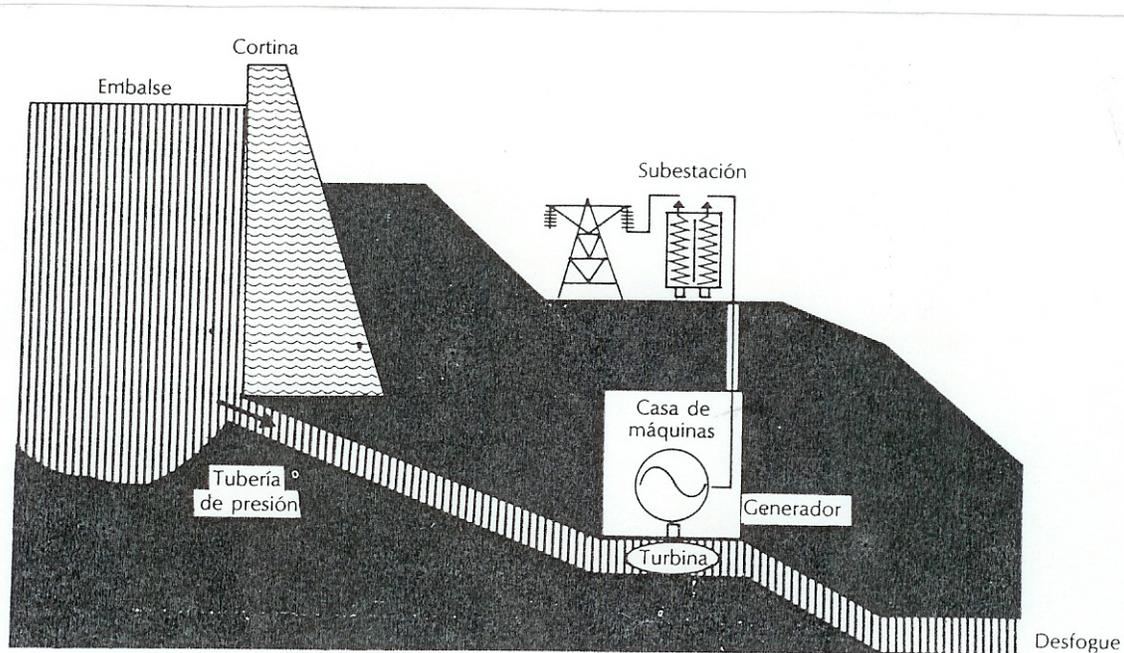
Esquema de una central geotermoeléctrica.

3. Nucleoeléctrica.- Una central de este tipo es una central térmica donde la caldera se sustituye por un reactor. Es en dicho reactor donde se lleva a cabo el proceso de fisión nuclear, el cual consiste en romper en dos fragmentos los núcleos de ciertos elementos químicos pesados. Cuando se produce la fisión se libera una gran cantidad de calor, mismo que sirve para calentar agua y así obtener vapor que será la fuerza que accione la turbina y por consecuencia el generador eléctrico. El combustible nuclear puede ser uranio-233, uranio-235 y plutonio-239.

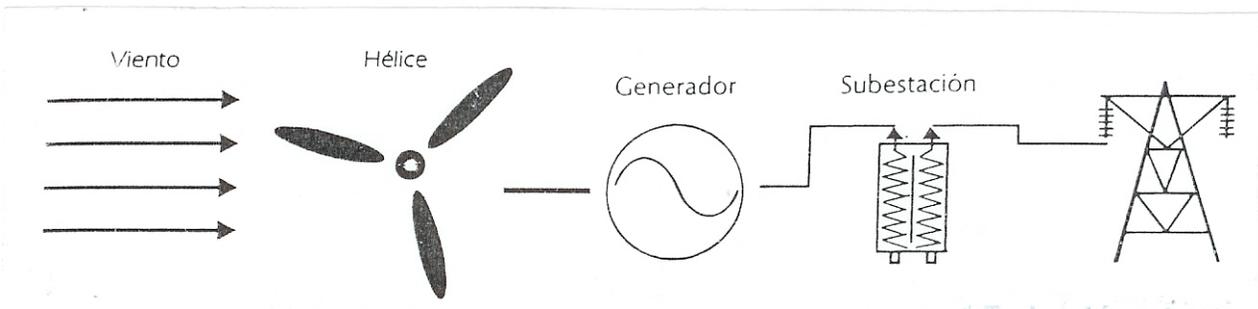
Centrales hidroeléctricas.- En estas centrales, se utiliza la energía del agua que proviene de las presas construidas sobre el cauce de algún río, la caída del agua o el paso de la misma acciona las turbinas que a su vez se encuentran acopladas al generador eléctrico y de esta forma se logra la transformación de energía mecánica a energía eléctrica.

Centrales eólicas.- Estas centrales son conjuntos de pequeños generadores eléctricos que son accionados por la fuerza del viento, dichos generadores se encuentran acoplados a hélices y no a turbinas como en los casos anteriores.

Cabe mencionar que en la actualidad existen otros medios para obtener energía eléctrica como es a través de la fuerza de las mareas, la energía del sol, la biomasa (descomposición de desechos orgánicos), pero su uso aún es muy reducido, por estar en fase de experimentación.



Esquema de una central hidroeléctrica.



Esquema de una central eólica.

1.3.1.1. Condiciones

Antes de instalar una central generadora es necesario conocer las características geográficas y climatológicas del lugar, con base a estos datos se decide que tipo de central es la más adecuada. Cabe mencionar que la energía que producen las diferentes centrales generadoras deben mantener la misma frecuencia (60 Hz.).

Todas las centrales generadoras son diferentes entre si, aún cuando son del mismo tipo, sus diferencias se deben básicamente a su capacidad de generación, a esta característica se deben otras como son la línea de transmisión que utilizan, la distancia a la cual transmiten y el área de servicio que cubren.

I.3.2. Transmisión

Para poder utilizar la energía eléctrica es necesario llevarla desde el lugar de producción hasta los lugares donde se requiere, esta es la función de una red de transmisión, la cual esta conformada básicamente de dos elementos: líneas de transmisión y subestaciones eléctricas.

Las líneas de transmisión son los conductores físicos por donde viaja la electricidad, las subestaciones eléctricas son los lugares donde, con ayuda de transformadores, las características de la energía eléctrica (voltaje y corriente) son modificadas.

Una forma de clasificar las líneas de transmisión es tomando en cuenta su longitud, siendo:

- a) Línea corta, menos de 80 kilómetros².
- b) Línea media, entre 80 y 240 kilómetros.
- c) Línea larga, más de 240 kilómetros.

Las subestaciones eléctricas pueden clasificarse de acuerdo a su construcción o por la función que habrán de realizar.

Si se trata de la función que realizan pueden interconectar líneas de transmisión de diferentes centrales generadoras, transformar los niveles de voltaje, ya sea para transmisión o distribución.

El nombre y ubicación de una subestación eléctrica dependen básicamente de la función que realizan y no de los voltajes que manejan, por ejemplo: las subestaciones eléctricas de transmisión se ubican lejos de zonas urbanas, para de esta forma poder contar con un fácil acceso de las líneas de transmisión y terrenos amplios donde puedan ser albergados todos los equipos que componen dicha subestación. Por el contrario, las subestaciones eléctricas de distribución deben ubicarse cerca de las zonas urbanas para poder cumplir su función: distribuir la energía eléctrica.

² 1 Kilómetro equivale a 1,000 metros.

En México la Comisión Federal de Electricidad (CFE), utiliza para transmisión los voltajes de 400, 230 y 161 Kilovolts.³

La misma CFE emplea básicamente los siguientes tipos de subestaciones:

- Subestaciones reductoras.- Reducen el nivel de voltaje.
- Subestaciones elevadoras.- Elevan el nivel de voltaje.
- Subestaciones de interconexión.- Conectan y desconectan centrales a la red eléctrica nacional.

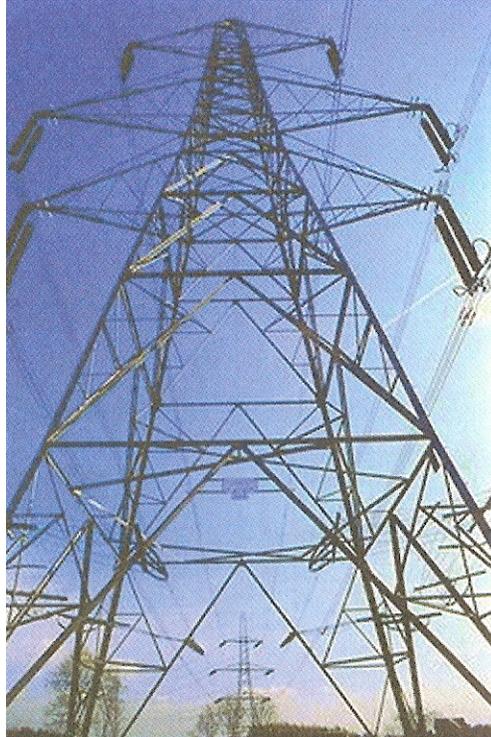


Imagen que muestra una torre de transmisión de energía eléctrica.

I.3.3. Distribución

La función de un sistema de distribución es proporcionar energía eléctrica, en la cantidad y forma adecuada, a cada uno de los usuarios que la requieran. Un usuario (o carga, como también se le llama) puede ser una casa-habitación, un taller, un centro comercial, una fábrica. Cada uno de estos usuarios tendrá necesidades diferentes, en cuanto a energía eléctrica se refiere, no requieren la misma cantidad una casa-

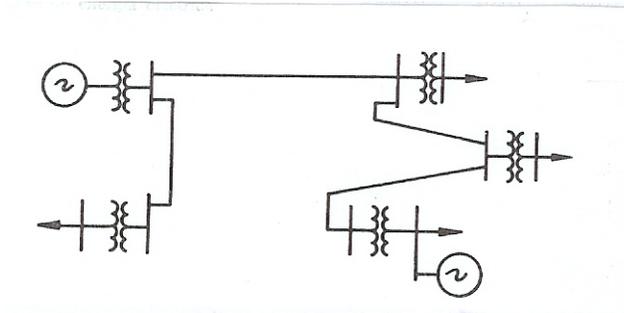
³ 1 Kilovolt equivale a mil volts.

habitación y una fábrica, a uno se le podrá proporcionar el servicio vía aérea, a otros vía subterránea, en algunos casos podrá existir una combinación de las anteriores.

I.3.3.1. Sistemas de distribución

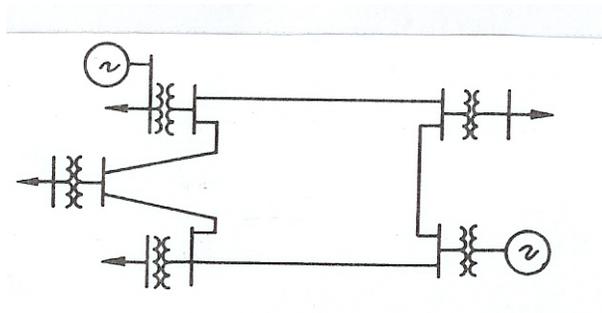
Los principales sistemas de distribución, de acuerdo a su operación son los siguientes:

1. Radial.- en este sistema las cargas son alimentadas por una sola fuente de energía y dicha alimentación tiene sólo una trayectoria de modo que si existe alguna falla en la parte de alimentación todo el sistema se ve afectado.



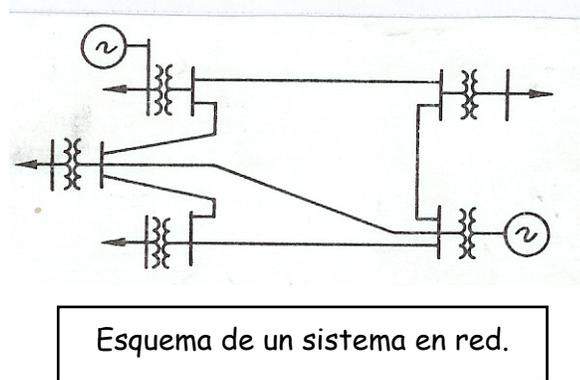
Esquema de un sistema radial.

2. Anillo.- En este sistema se cuenta con doble alimentación por lo cual si alguna de las fuentes de energía falla, el sistema sigue siendo alimentado por la otra fuente. Este tipo de sistemas presentan un mejor funcionamiento, con respecto al radial, ya que al tener dos fuentes existe mayor seguridad y una mejor regulación de voltaje.



Esquema de un sistema en anillo.

3. Red.- En este tipo de sistema se aumentan las interconexiones lo que da como resultado una mayor seguridad en el sistema.



Un sistema de distribución de acuerdo a su construcción puede ser:

1. Aéreo.- Tienen la característica de ser sencillo y económico, motivo por el cual se utilizan tanto en zonas urbanas como rurales y se emplean para dar servicio a cargas residenciales, comerciales e industriales.

Los conductores que se emplean en este tipo de sistemas suelen ser desnudos y son sostenidos por postes que en su mayoría son de concreto. Una desventaja de este tipo de sistemas es que están expuestos a ser afectados por lluvias, vientos, caídas de árboles, choques de vehículos.

2. Subterráneo.- En estos sistemas los conductores son forrados y viajan por ductos dispuestos bajo tierra. Un sistema subterráneo es más confiable que un aéreo y proporciona limpieza al paisaje, pero su costo es más elevado.
3. Mixto.- Este sistema consiste en combinar los dos anteriores. La combinación más popular es utilizar primero el sistema aéreo y después el subterráneo.

Este tipo de sistemas son muy empleados en grandes centros comerciales, unidades habitacionales y fraccionamientos.

I.3.3.2. Elementos que componen un sistema de distribución

Los principales elementos que conforman a un sistema de distribución son los siguientes:

- a) Alimentadores primarios de distribución.- Son los conductores eléctricos encargados de llevar la energía eléctrica desde la subestación de distribución hasta los transformadores de distribución.
- b) Transformadores de distribución.- Son los encargados de reducir el voltaje a un nivel que el usuario final pueda utilizar sin necesidad de emplear equipo costoso y complejo.

- c) Alimentadores secundarios.- Son los conductores que distribuyen la energía eléctrica desde los transformadores de distribución hasta la acometida de los usuarios.
- d) Acometida.- Son los conductores que conectan a la red de distribución con los usuarios.
- e) Equipo de medición.- Comúnmente llamados “medidores” son los encargados de contabilizar la cantidad de energía eléctrica que cada usuario consume.

Cabe mencionar que CFE en la parte de distribución utiliza los siguientes niveles de voltaje:

Distribución	{	Subtransmisión: 138, 115, 85 y 69 Kilovolts
		Distribución: 34.5, 23, 13.8, 6.6, 4.16 y 2.4 Kilovolts
		Baja tensión: 220 y 127 volts.

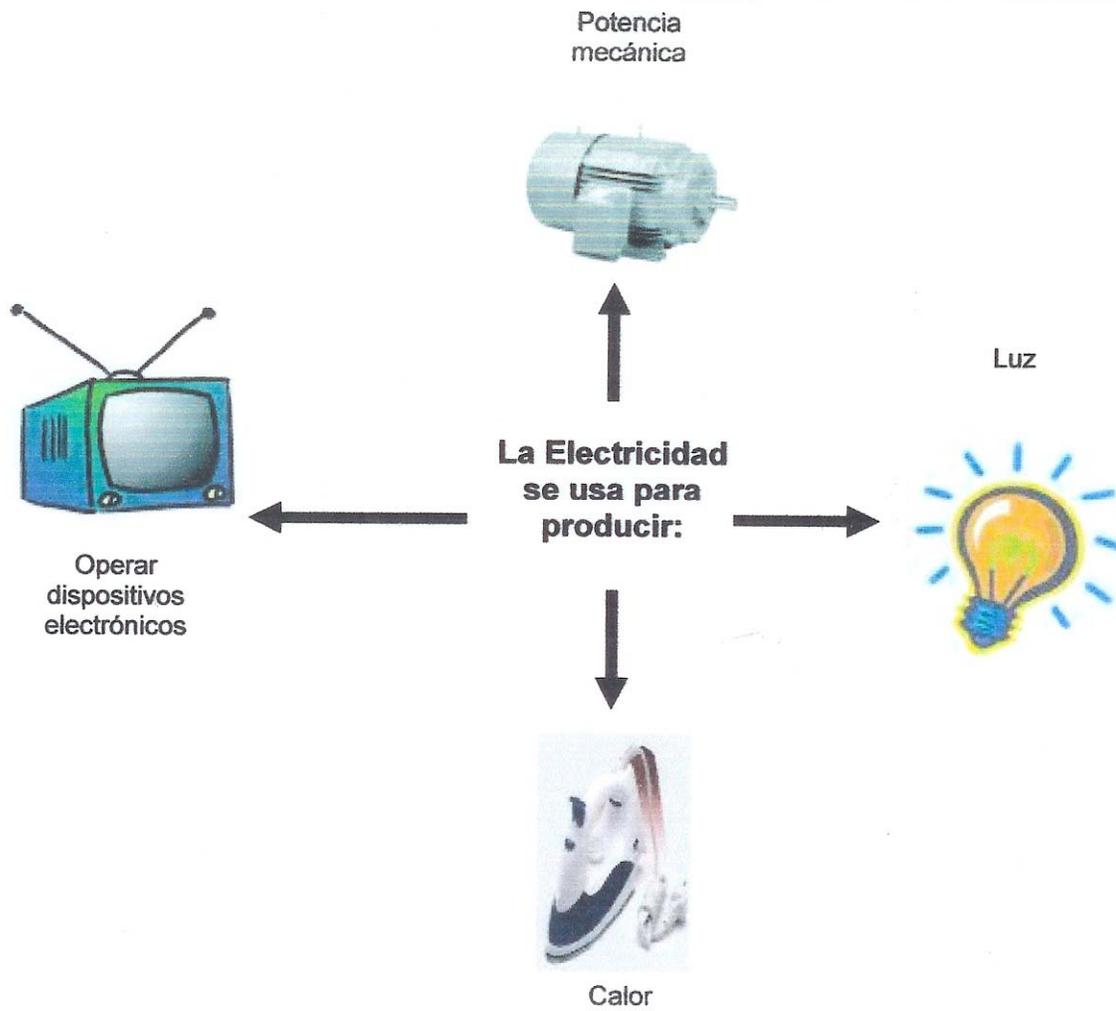
I.4. Usos de la energía eléctrica

En la actualidad la energía eléctrica se utiliza para accionar motores, bombas de agua, producir calor, obtener luz artificial, hacer funcionar aparatos electrodomésticos, equipos de comunicación.

Los sistemas más comunes para proporcionar energía eléctrica son los siguientes:

Monofásico	{	2 hilos (fase y neutro).
		3 hilos (dos fases y neutro).
Trifásico	{	3 hilos (tres fases).
		4 hilos (tres fases y neutro).

Cabe mencionar que en algunos casos el nivel de voltaje puede variar de acuerdo a las necesidades de cada consumidor.



Usos de la energía eléctrica.

I.5. Leyes que rigen a la electricidad

La electricidad al igual que todas las demás áreas del saber humano tiene leyes que rigen y describen su comportamiento. En el presente trabajo se mencionan algunas de ellas, pero sin profundizar en su origen o explicación.

I.5.1. Ley de las cargas

Esta ley establece que: Dos cuerpos electrizados con la misma clase de electrización, es decir; con el mismo signo (los dos positivos o los dos negativos), se repelen; dos cuerpos electrizados con electrizaciones de signos contrarios (uno positivo y el otro negativo), se atraen⁴.

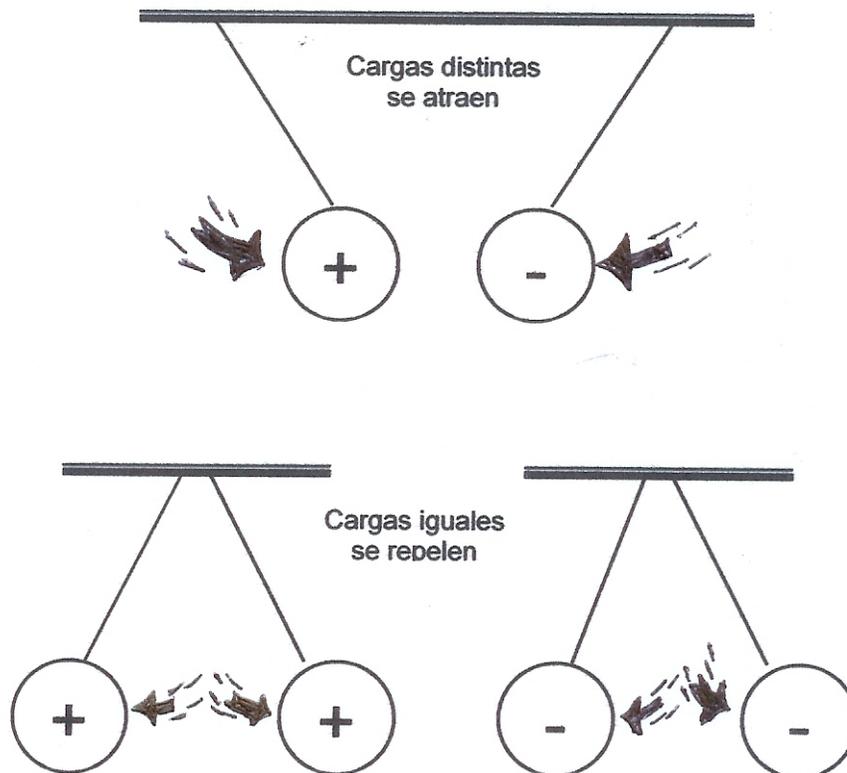


Ilustración de la ley de las cargas.

⁴ Física, Campos y Ondas. Alonso/Rojo. Addison-Wesley Iberoamericana.

I.5.2. Ley de Coulomb

Esta ley indica que: La fuerza (de atracción o repulsión) entre dos cargas eléctricas puntuales, q y q' , es directamente proporcional al producto de ambas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia⁵. Se expresa:

$$F = K \frac{qq'}{r^2}$$

Donde:

K (Constante de proporcionalidad) = $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ (Esto para el SI).

F = Fuerza en Newtons (N).

q y q' = Cargas eléctricas puntuales en coulomb (C).

r = Distancia en metros (m).

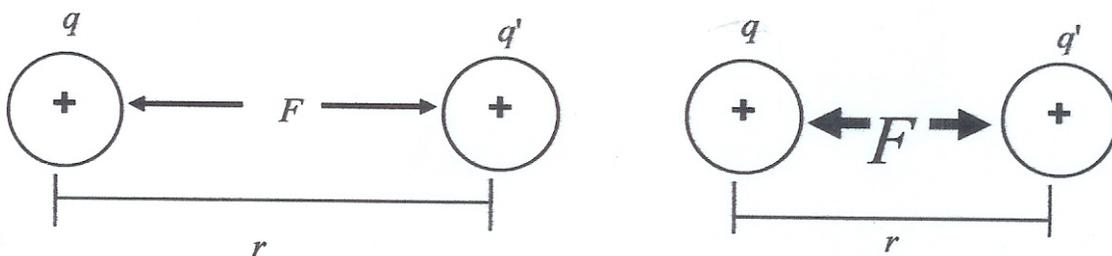


Ilustración de la ley de Coulomb.

Cabe aclarar que los signos de las cargas q y q' no afectan la magnitud de la fuerza; el signo de la fuerza resultante tiene la siguiente interpretación: Si la fuerza F resultante es positiva significa que existe repulsión entre las cargas, y si la fuerza F resultante es negativa significa que existe atracción entre las cargas.

I.5.3. Ley de Faraday –Henry

Esta ley establece que: La fem inducida en un circuito es igual a la variación de flujo magnético a través del circuito por unidad de tiempo⁶. Su magnitud esta dada por:

⁵ Electricidad Básica. Volumen 1. Van Valkenburgh, Nooger and Neville Inc. Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V.

⁶ Física, Campos y Ondas. Alonso/Rojo. Addison -Wesley Iberoamericana.

Donde:

$\Delta\phi$ = Variación del flujo magnético en webers (Wb).

Δt = Variación de tiempo en segundos (s).

V = Fem inducida o voltaje en volts (v).

$$V = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

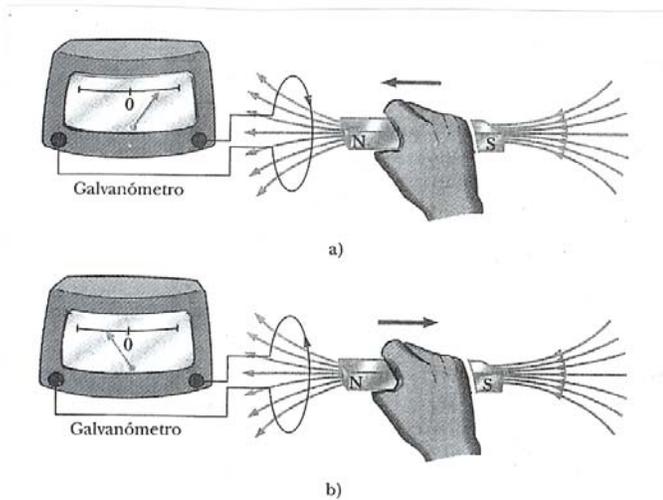


Ilustración de la ley de Faraday.

a) Cuando un imán se mueve hacia un lazo de alambre conectado a un galvanómetro, la aguja de éste se desvía como se indica. Esto muestra que una corriente se induce en el lazo.

b) Cuando el imán se mueve alejándose del lazo, la aguja del galvanómetro se desvía en la dirección opuesta, lo que indica que la corriente inducida es opuesta a la mostrada en el inciso a).

I.5.4. Ley de Amper-Maxwell

Esta ley establece lo siguiente: Todo campo eléctrico que varíe con el tiempo respecto a un observador produce a su alrededor un campo magnético⁷.



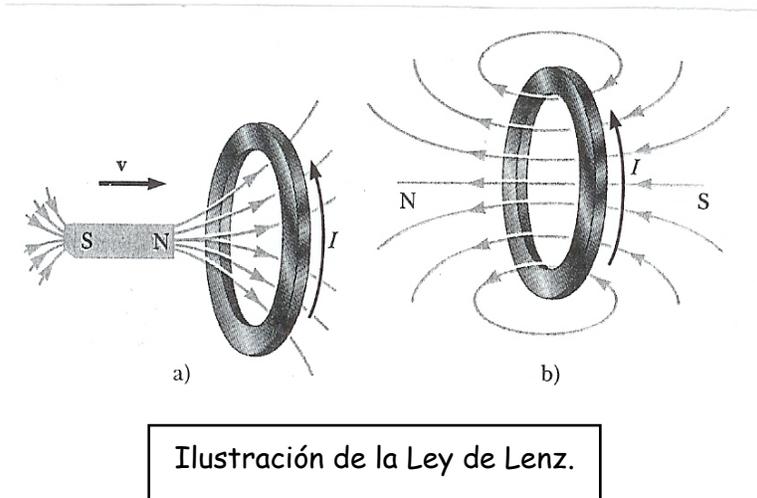
En la imagen se puede apreciar, por medio de las limaduras de hierro, el campo magnético que se produce alrededor del conductor cuando circula a través de él una corriente eléctrica.

Ilustración de la Ley de Ampere-Maxwell.

⁷ Física, Campos y Ondas. Alonso/Rojo. Addison -Wesley Iberoamericana.

I.5.5. Ley de Lenz

Esta ley establece que: La polaridad de una fem inducida es tal que tiende a producir una corriente que creará un flujo magnético que se opone al cambio del flujo magnético a través del lazo⁸.



a) Cuando el imán se mueve hacia el lazo conductor estacionario, se induce una corriente en la dirección indicada.

b) Esta corriente inducida produce su propio flujo hacia la izquierda para contrarrestar el flujo externo creciente hacia la derecha.

I.5.6. Ley de Ohm

Esta ley establece que: La corriente que fluye en un circuito es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia⁹. Se expresa:

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde: I = Corriente eléctrica en Amperes (A).
 V = Voltaje en volts (V).
 R = Resistencia del conductor en Ohms (Ω).

I.5.7. Efecto Joule

Cuando por un conductor eléctrico se hace circular una corriente dicho conductor sufre un calentamiento (su temperatura aumenta), dicho calentamiento se le llama efecto Joule. Para el caso de los circuitos eléctricos este fenómeno recibe el nombre de Potencia eléctrica, y se expresa:

$$P = V \times I$$

⁸ Física, Tomo II. Cuarta edición. Raymond A. Serway. Mc. Graw Hill.

⁹ Circuitos Eléctricos. Joseph A. Edminister. Serie Schaum, Editorial Mc. Graw Hill.

Donde:

P = Potencia eléctrica en watts (w).

R = Resistencia eléctrica en ohms (Ω).

I = Corriente eléctrica en ampers (A).

La potencia, en forma general, es la cantidad de energía consumida por unidad de tiempo, su unidad es el watt, el cual se define como:

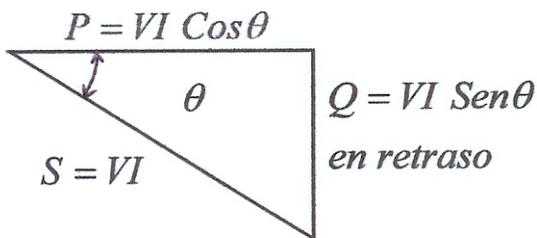
$$1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ segundo}}$$

I.5.8. Factor de potencia

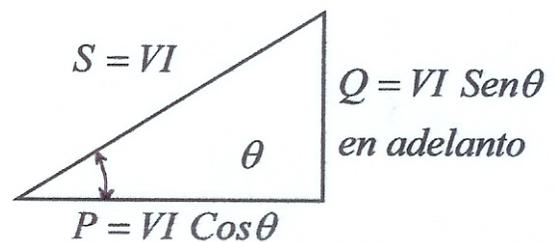
Los elementos que integran hoy en día los circuitos eléctricos son variados por lo cual conocer la potencia de dichos circuitos no es tan simple. Existen tres tipos de potencias que son:

1. Potencia aparente (S).- Es la potencia total del circuito, se mide en Volt-Amper (VA).
2. Potencia activa (P).- Se debe a los elementos puramente resistivos, se mide en watts (w).
3. Potencia reactiva (Q).- Se debe a elementos inductivos y capacitivos, se mide en Volt-Amper reactivo (VAR).

Las tres potencias antes descritas suelen representarse en los llamados triángulos de potencias.



Carga inductiva.



Carga capacitiva.

El ángulo θ es un indicador de la eficiencia de un circuito eléctrico, es decir que tan bien se utiliza la energía eléctrica proporcionada a dicho circuito. En forma ideal la potencia activa y la aparente deberían ser iguales ($\theta = 0^\circ$), pero en la realidad esto no sucede. El término $\text{Cos } \theta$ es lo que se conoce como factor de potencia (fp), y se expresa:

$$fp = \text{Cos } \theta = \frac{P}{S}$$

Donde:

fp = Factor de Potencia (adimensional).

θ = Ángulo formado por P y S.

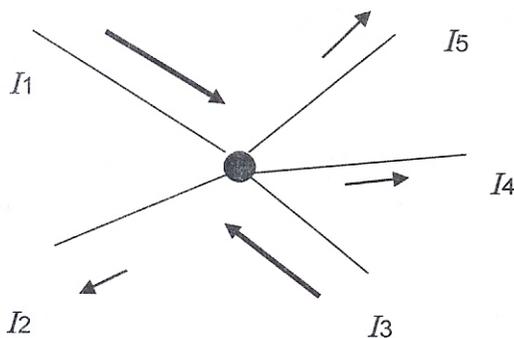
P = Potencia activa en watts (w).

S = Potencia aparente en Volt - Amper (VA).

I.5.9. Leyes de Kirchhoff

Gustav Kirchhoff (1824 – 1887), establece que para poder resolver los circuitos eléctricos se pueden emplear dos leyes que él formuló y son¹⁰:

1. La suma de las intensidades de corriente que llegan a un nodo es igual a la suma de las intensidades que salen de él. Dicho de otra forma, si en un nodo se consideran positivas las corrientes que entran a él y negativas las que salen de él, la suma algebraica de dichas corrientes es igual a cero.



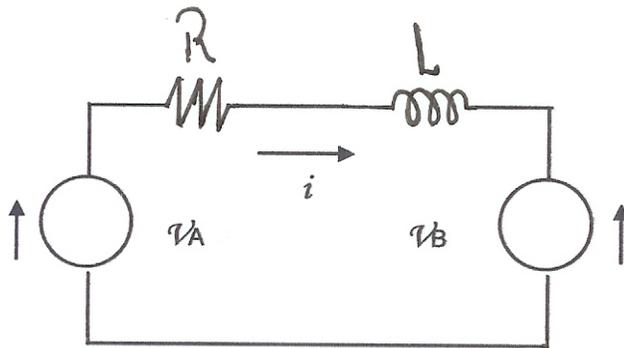
Σ intensidades que entran = Σ intensidades que salen

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5$$

$$\text{o bien } I_1 + I_3 - I_2 - I_4 - I_5 = 0$$

¹⁰ Circuitos Eléctricos. Joseph A. Edminister. Serie Schaum, Editorial Mc. Graw Hill.

2. En un circuito cerrado o malla, la suma algebraica de las fuerzas electromotrices aplicadas, o subidas de tensión, es igual a la suma de las caídas de tensión en todos los elementos pasivos. Dicho de otra forma, la suma algebraica de los voltajes proporcionados, en todo circuito cerrado es cero. Se acostumbra considerar una subida de tensión cuando la polaridad va de $-$ a $+$, y como caída de tensión cuando va de $+$ a $-$.



Σ subidas de tensión = Σ caídas de tensión
 $\mathcal{V}_A - \mathcal{V}_B = Ri + L(\frac{di}{dt})$
 o bien $\mathcal{V}_A - \mathcal{V}_B - Ri - L(\frac{di}{dt}) = 0$

Capítulo II.

La Iluminación.

II. 1 . Naturaleza de la luz

La luz es una forma de energía radiante y a su vez es la responsable de producir la sensación de la visión.

A través de la historia la Física ha buscado explicar la naturaleza de la luz por medio de dos teorías:

1. Corpuscular (Isaac Newton).- Sostiene que la luz esta compuesta por partículas de energía las cuales viajan en forma rectilínea.
2. Ondulatoria (Cristian Huygens).- Describe a la luz como ondas (similares a las que se observan cuando un objeto cae en la superficie de un líquido), pero con velocidad muy superior y que no son visibles.

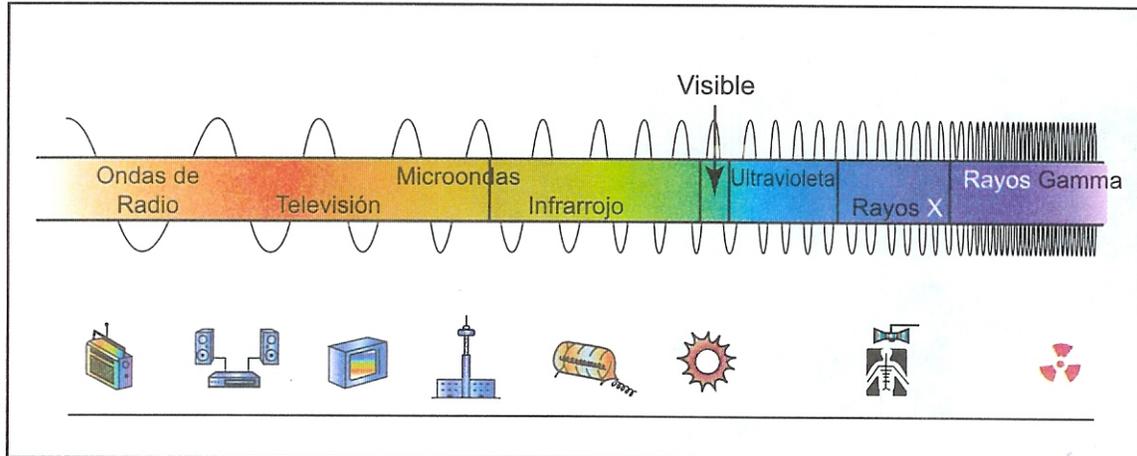
Hoy en día se sabe que ambas teorías se complementan una a otra. Las mediciones que se realizan en iluminación son de tipo corpuscular y la radiación electromagnética es de tipo ondulatoria.

La luz visible que se conoce es sólo una pequeña porción de lo que es el espectro electromagnético, que es la enorme gama de energía radiante que se desplaza por todo el espacio cósmico en forma de ondas electromagnéticas, debido a esto la luz puede transmitirse de un punto a otro sin necesidad de usar medio alguno.

Se le llama luz visible a la radiación electromagnética comprendida entre 380 y 760 nanómetros (nm) ya que sólo esta porción es capaz de excitar el ojo humano.

Lo que diferencia a la luz visible de las otras formas de energía radiante (microondas, infrarrojo, ultravioleta, radio), es la frecuencia, longitud de onda y la forma en la cual se manifiestan cada una.

Esta forma de manifestarse puede ser: la excitación de los electrones de una antena (radio), la transmisión de calor (infrarrojo), y el oscurecimiento de la piel (ultravioleta), entre otras.



Distribución del espectro electromagnético.

Existen varias formas de dividir el espectro electromagnético y clasificar las formas de energía que lo componen. La Tabla II.1., muestra una división de acuerdo a la frecuencia.

II.1.1. Características de la energía radiante

La luz es una forma de energía radiante, y a su vez tiene naturaleza ondulatoria por lo cual cabe señalar algunas características que esta posee:

- Velocidad de propagación (c).- Es un valor constante que equivale a 3×10^8 metros/segundo.
- Frecuencia (f).- Número de oscilaciones o ciclos que realiza en la unidad de tiempo, se mide en ciclos/segundo o Hertz (Hz).

- Período (T).- Tiempo que tarda en realizar un ciclo, se mide en segundos.
- Longitud de onda (λ).- Es la distancia que recorre la onda durante un ciclo, se mide en metros pero la medida más usual es el nanómetro (nm). Se determina por:

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

Tabla II.1. Distribución del espectro electromagnético.

	Frecuencia (Hertz)	Longitud de onda (metros)
Frecuencias extremadamente bajas	30 – 300	10M – 1M
Frecuencias de voz	300 – 3K	1M – 100K
Frecuencias muy bajas	3K – 30K	100K – 10K
Frecuencias bajas	30K – 300K	10K – 1K
Frecuencias intermedias	300K – 3M	1K – 100
Frecuencias altas	3M – 30M	100 – 10
Muy altas frecuencias	30M – 300M	10 – 1
Frecuencias ultra altas	300M – 3G	1 – 0.1
Frecuencias súper altas	3G – 30G	0.1 – 0.01
Frecuencias extremadamente altas	30G – 300G	0.01 – 1m
Luz infrarroja	300G – 300T	1m - 1 μ
Luz visible	300T – 3P	1 μ - 0.1 μ
Luz ultravioleta	3P – 30P	0.1 μ - 0.01 μ
Rayos X	30P – 300P	0.01 μ - 1p
Rayos gamma	300P – 3E	1p – 0.1p
Rayos cósmicos	3E – 30E	0.1p – 0.01p

Fuente: *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Cuarta Edición. Wayne Tomasi. Pearson Educación.*

A continuación se presenta el significado de cada una de las literales utilizadas en la Tabla II.1.
 10^{18} = Exa (E); 10^{15} = Peta (P); 10^{12} = Tera (T); 10^9 = Giga (G); 10^6 = Mega (M); 10^3 = Kilo (K)
 10^{-3} = Mili (m); 10^{-6} = Micro (μ); 10^{-9} = Nano (n); 10^{-12} = Pico (p)

II.1.2. Luz visible

La luz visible a su vez esta compuesta por los diversos colores que se conocen (rojo, amarillo, azul, amarillo,...). Cada color también tiene una longitud de onda y frecuencia diferentes. La Tabla II.2., muestra los colores que componen la luz visible.

Cabe aclarar que estas divisiones (del espectro electromagnético y los colores), **sólo son** aproximaciones ya que no existe un punto exacto donde un tipo de energía o color dejen de ser y se conviertan en otro.

Tabla II.2. División de los colores que componen la Luz visible.

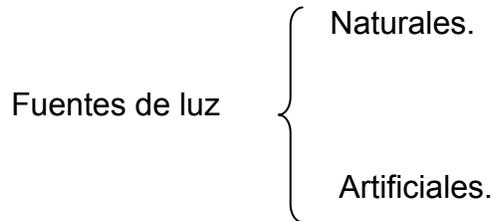
Color	Longitud de onda (metros)	Frecuencia (Hertz)
Rojo	625 – 760 n	480 – 395 T
Naranja	588 – 625 n	510 – 480 T
Amarillo	566 – 588 n	530 – 510 T
Verde	517 – 566 n	580 – 530 T
Cian	500 – 517 n	600 – 580 T
Azul	447 – 500 n	670 – 600 T
Añil	428 – 447 n	700 – 670 T
Violeta	379 – 428 n	790 – 700 T

Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Color>

II.1.3. Fuentes de luz

La energía tiene la capacidad de tomar varias formas (mecánica, térmica, eléctrica, química), y transformarse de una a otra, por ejemplo: de eléctrica a térmica (plancha), de química a eléctrica (pila). Cuando dicha transformación da como resultado luz visible se habla de producción de luz.

Los dispositivos que generan esta transformación reciben el nombre de fuentes de luz y se clasifican en:



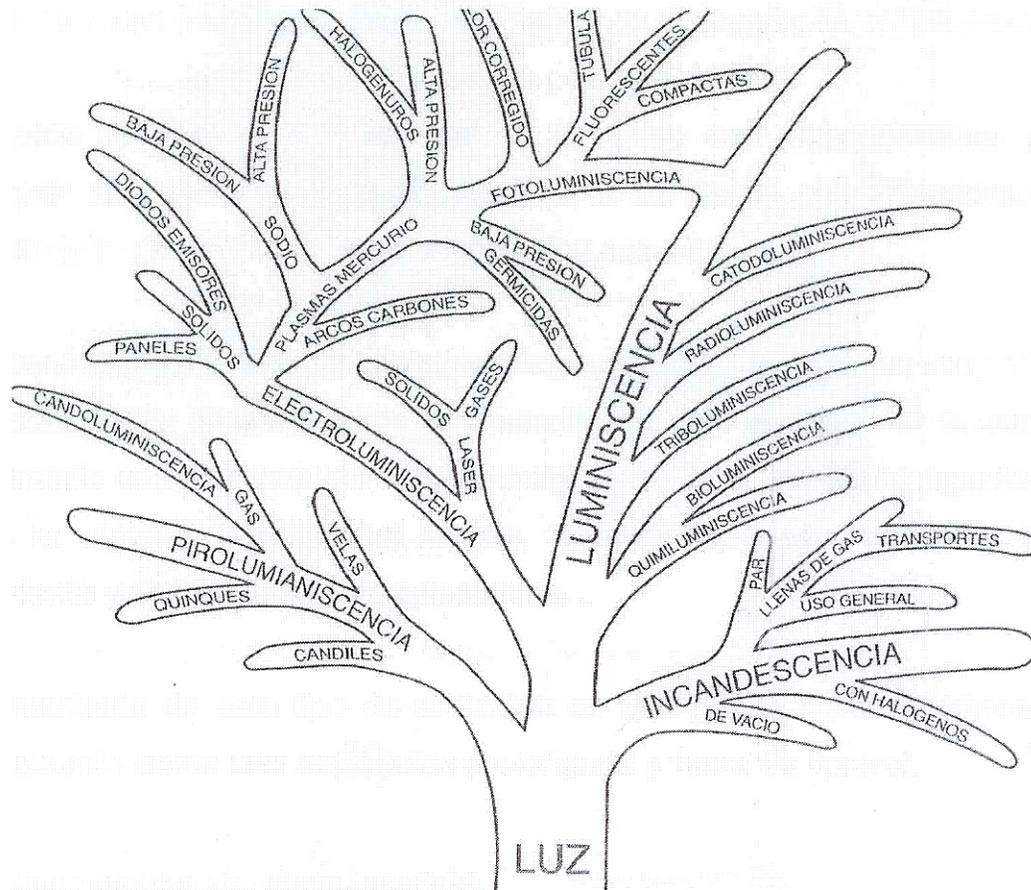
Dentro de las naturales la más importante es el Sol y en menor importancia las estrellas y las luciérnagas.

Para el caso de las artificiales actualmente la obtención de luz (en forma dominante), se logra transformando energía eléctrica en lumínica, esto, básicamente a través de cualquiera de los siguientes fenómenos:

- Incandescencia.- Consiste en hacer circular una corriente eléctrica por el filamento de Wolframio que se encuentra dentro de una atmósfera inerte. Dicho filamento sufre un calentamiento, provocado por la corriente que circula a través de él, parte de dicho calentamiento se transforma en luz visible.
- Luminiscencia.- Consiste en excitar los electrones de un gas a un nivel superior de energía, los cuales recuperan su estado estable proporcionando energía en forma de luz visible.
- Fotoluminiscencia.- Es la transformación de radiación electromagnética no visible (como el ultravioleta), en luz visible.

Existen otros procesos para obtener luz visible como la quimioluminiscencia (reacciones de sustancias químicas), la radioluminiscencia (reacción de sustancias radioactivas), la inyectoluminiscencia (LED). Estos procesos, de reciente aparición, no son muy usados en la actualidad, pero pueden convertirse en el futuro de la iluminación artificial.

Clasificación de las fuentes de luz.



Fuente: Manual de Luminotecnia Osram. Ramón San Martín Páramo.

II.1.4. Luz infrarroja y ultravioleta

La radiación infrarroja es básicamente radiación caliente, todo cuerpo que tenga una temperatura diferente al cero absoluto (0°K o -273°C), emite radiación infrarroja. La radiación infrarroja puede penetrar humo espeso, nubes y polvo, motivo por el cual las cámaras infrarrojas son muy útiles para encontrar y rescatar personas perdidas en la oscuridad, en la mar, dentro de un edificio lleno de humo. La aplicación de la radiación infrarroja también se extiende a ciencias como: Astronomía, Meteorología, Oceanografía, Arqueología, Medicina, Industria alimenticia, entre otras.

La radiación infrarroja es la responsable de que en el planeta Tierra exista calor.

La radiación ultravioleta al igual que la infrarroja son imperceptibles para el ojo humano, por ello no están dentro del rango de la luz visible, pero su estudio es de gran interés debido a que son muy útiles en diversos procesos.

La luz ultravioleta interviene en distintos procesos biológicos, un uso muy popular es en la eliminación de la contaminación microbiológica, por ejemplo: en la purificación de agua, logrando con este método una eficacia del 99.9 %, no utiliza agentes químicos, no altera la composición del vital líquido, no daña al medio ambiente, no requiere mantenimiento y es relativamente económica.

Un inconveniente de este tipo de radiación es que puede producir cáncer en la piel humana, cuando existe una exposición prolongada y fuera de control.

II.2. Conceptos de iluminación

Flujo luminoso.- Es la cantidad de energía luminosa radiada al espacio por unidad de tiempo (sin tomar en cuenta la dirección), la cual esta dada por:

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Donde:

$\Phi =$ Flujo luminoso, en lumen (lm).

$Q =$ Energía luminosa en lumen por segundo (lm - s).

$t =$ Tiempo, en segundos (s).

Intensidad luminosa.- Es la cantidad de luz dentro de un ángulo sólido extremadamente pequeño, en una dirección determinada, la cual esta dada por:

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

Donde:

$I =$ Intensidad luminosa, en candelas (cd).

$\Phi =$ Flujo luminoso, en lumen (lm).

$\omega =$ Ángulo sólido, en estereorradián (sr).

Iluminación.- Es la cantidad de flujo luminoso sobre una superficie, también conocido como nivel de iluminación¹, esta dado por:

$$E = \frac{\Phi}{S} \qquad 1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ m}^2}$$

Donde:

$E =$ Iluminación, en lux (lx).

$\Phi =$ Flujo luminoso, en lumen (lm).

$S =$ Superficie, en metros cuadrados (m^2).

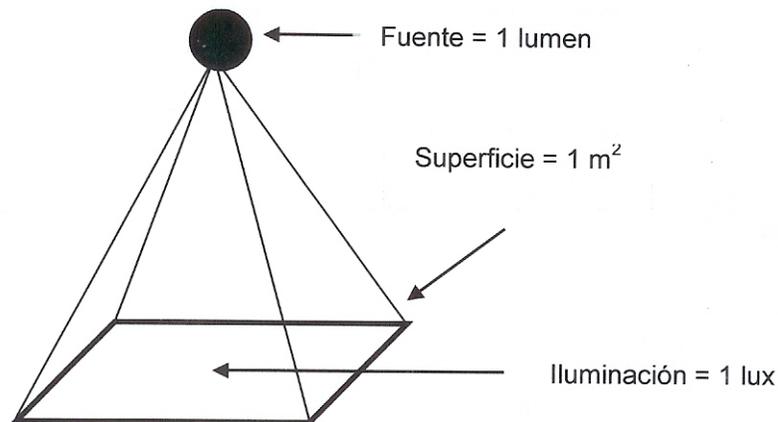


Ilustración de la iluminación.

Luminancia o brillo fotométrico: Es la relación entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección y la superficie de la fuente proyectada según dicha

¹ La iluminación es la cantidad de luz que incide sobre un objeto y la luminancia es la cantidad de luz que dicho cuerpo emite en dirección del observador.

dirección. Dicho de otra forma; la luminancia de un objeto está determinada por la cantidad de luz que incide sobre él y que a su vez es capaz de reflejar², esta dada por:

$$L = \frac{I}{S \cos \alpha}$$

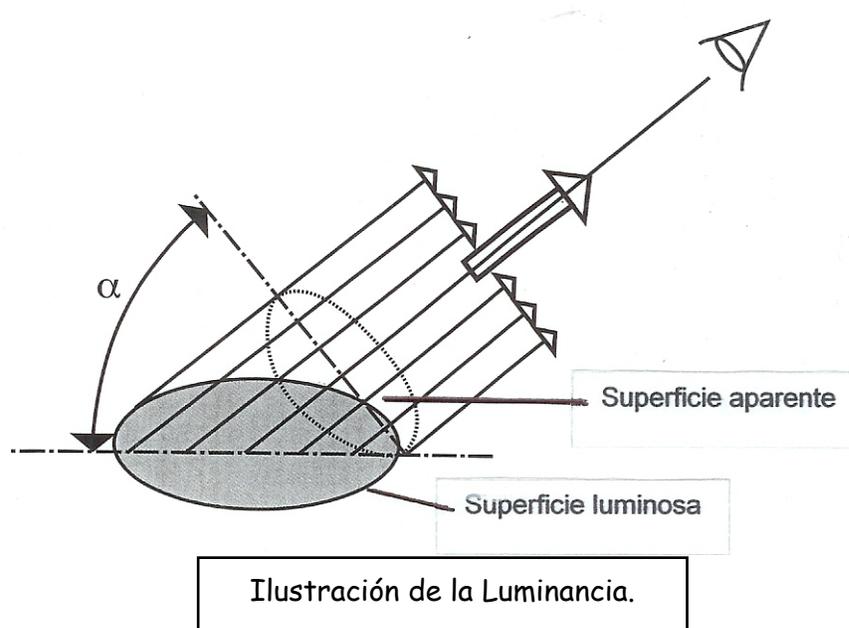
Donde:

L = Luminancia, en candela sobre metro cuadrado (cd / m^2).

I = Intensidad luminosa en candelas (cd).

S = Superficie en metros cuadrados (m^2).

α = Ángulo de dirección (adimensional).



Contraste.- Los diferentes valores de luminancia que poseen los objetos es lo que permite visualizarlos y distinguirlos unos de otros. A esto se debe que algunos cuerpos sean percibidos por el ojo más brillantes y otros más oscuros. El contraste es un elemento determinante en la observación de los objetos y se determina por:

² Electrotecnologías 2. Técnicas y aplicaciones de la iluminación. Luis C. Fernández Salazar, Jaime de Landa Amescua. Mc. Graw Hill. EVE Ente Vasco de la Energía.

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

Donde:

C = *Contraste* (adimensional).

L_o = *Luminancia del objeto* (cd / m^2).

L_f = *Luminancia del fondo* (cd / m^2).

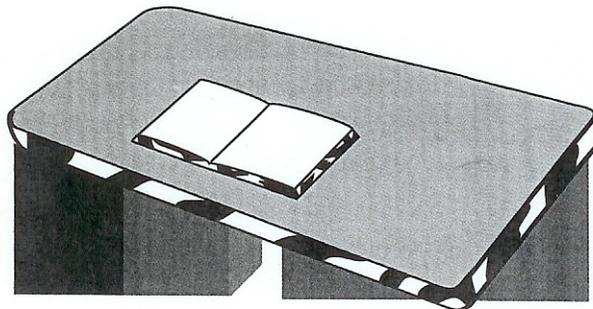


Ilustración del contraste.

El contraste es el elemento que permite leer de manera más fácil letras negras sobre una hoja blanca que letras amarillas sobre la misma hoja blanca.

Siendo contraste positivo cuando se colocan objetos claros sobre un fondo oscuro, y contraste negativo cuando se colocan objetos oscuros sobre un fondo claro.

Eficiencia.- En forma general, es que tan bien se usa la energía de la cual se dispone. Para el caso de la iluminación lo que interesa es que tan eficientes sean las fuentes de luz que se habrán de utilizar, por lo cual la eficiencia será cuanta de la energía que se aplica a la fuente de luz es convertida en luz y cuanta se pierde en forma de calor u otras. Donde:

1. Eficiencia luminosa de la radiación (K), es la relación entre el flujo luminoso y el flujo radiante.

$$K = \frac{F}{Fr} \quad (\text{Expresado en lumen/watt})$$

Donde:

$K = \text{Eficiencia.}$

$F = \text{Flujo luminoso.}$

$Fr = \text{Flujo radiante.}$

2. Eficiencia luminosa de la fuente de luz (n), es la relación entre el flujo luminoso y la potencia absorbida por la fuente³.

$$n = \frac{F}{P} \quad (\text{Expresado en lumen/watt})$$

Donde:

$n = \text{Eficiencia.}$

$F = \text{Flujo luminoso.}$

$P = \text{Potencia de la lámpara.}$

La diferencia entre estas dos definiciones es que la primera se refiere a la energía radiante en general (incluyendo luz visible y no visible), y la segunda se refiere a una fuente de luz visible (lámpara), en particular.

Esta magnitud es también conocida como rendimiento luminoso y es la que se emplea, en la práctica para definir la eficacia de una determinada fuente de luz.

Cabe aclarar que en forma ideal una lámpara debería convertir toda la energía que recibe en luz, pero en la realidad esto no ocurre ya que por mínima que sea siempre habrá una parte de la energía que se le proporcione a la lámpara que se desperdicia, es decir, se convierte en calor u otra.

³ Electrotecnologías 2. Técnicas y aplicaciones de la iluminación. Luis C. Fernández Salazar, Jaime de Landa Amescua. Mc. Graw Hill. EVE Ente Vasco de la Energía.

El color.- Al hablar del color de una fuente de luz hay que mencionar las siguientes propiedades:

- La apariencia de color de la fuente o dicho de otra forma, que color presenta la luz que proporciona dicha fuente.
- La reproducción cromática que se obtiene con una fuente de luz, esto se refiere a que color presentan los objetos al momento de ser iluminados por dicha fuente de luz.

Temperatura de color.- La luz que proporcionan los diferentes tipos de lámparas presentan un color o una tonalidad diferente, a esta propiedad se le conoce como temperatura de color y se le llama así debido a que están comparadas o referenciadas a una fuente patrón (cuerpo negro).

Para algunas lámparas, como las incandescentes, la fuente patrón es una lámpara que se asemeja a un cuerpo negro. El color de la luz que emite un cuerpo negro cambia al cambiar la temperatura que este presenta, por lo cual cuando el color de la luz del cuerpo negro y el color de la luz de la lámpara a comparar se asemejan la temperatura del cuerpo negro es la temperatura que se le asigna al color de la luz.

Existen otros tipos de lámparas (como las de descarga), para las cuales existe el término temperatura de color similar o correlacionada.

La Tabla II.3., establece una equivalencia práctica entre la apariencia de color y la temperatura de color.

Tabla II.3. Temperatura de color.

Apariencia de color	Temperatura de color ($^{\circ}$ K)
---------------------	--------------------------------------

Cálida	< 3,300
Intermedia	3,300 – 5,000
Fría (luz de día)	>5,000

Fuente: **Electrotecnologías 2. Técnicas y aplicaciones de la iluminación.** Luis C. Fernández Salazar, Jaime de Landa Amescua. Mc. Graw Hill. EVE Ente Vasco de la Energía.

Existen dos aspectos en los cuales la temperatura de color resulta decisiva tal como:

- No utilizar en forma simultánea fuentes de luz con temperaturas de color diferentes ya que causan perturbaciones visuales debido a la adaptación cromática del ojo.
- Cuando el nivel de iluminación es alto, la temperatura de color de las lámparas debe ser fría y cuando los niveles de iluminación son bajos se deben utilizar lámparas con temperaturas de color cálidas.

Índice de reproducción de color (IRC).- El IRC de una lámpara nos indica que tan correctamente reproduce los colores de los objetos que ilumina, el IRC varía entre 0 y 100, la Tabla II.4., muestra los diferentes valores de IRC que resulta muy útil para fines prácticos.

Lumen. Un lumen es el flujo de luz que incide sobre una superficie de un metro cuadrado, la totalidad de cuyos puntos diste un metro de una fuente puntual teórica que tenga una intensidad luminosa de una candela en todas direcciones.⁴

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. Dicho de otra manera, un lumen es el flujo luminoso emitido en un ángulo sólido unidad por una fuente puntual uniforme de una candela.

Tabla II.4. Diferentes valores de IRC.

⁴ Manual del alumbrado Westinghouse, 3ra. Edición. Reimpresión 1979. Editorial Dossat S.A.

Clase	IRC	Consideración
1 A	≥ 90	Excelente
1 B	80 ÷ 89	Muy buena
1 A	70 ÷ 79	Buena
2 B	60 ÷ 69	Aceptable
3	40 ÷ 49	Regular
4	20 ÷ 39	Insuficiente
-	< 20	Nula

Fuente: Manual de Luminotecnia Osram. Ramón San Martín Páramo.

Candela.- Es la intensidad luminosa, en la dirección normal, de un cuerpo luminoso que se encuentra a la temperatura de fusión del platino (1750° C) y tiene una superficie igual a $1/600,000 \text{ m}^2$ (o sea, aproximadamente 1.67 mm^2).⁵

La diferencia entre lumen y candela es que el lumen es una medida del flujo luminoso sin importar su dirección.

Ángulo sólido.- El ángulo sólido viene dado por el cociente entre la superficie de esfera que abarca y el cuadrado del radio de la esfera. La unidad se denomina a veces estereorradián (sr).⁶

Cuerpo Negro.- Los cuerpos que poseen capacidad de absorción 1, es decir, que absorben toda la radiación incidente y la transforman completamente en calor, se designan cuerpos absolutamente negros.⁷

⁵ Física, Campos y Ondas. Alonso/Rojo. Addison-Wesley Iberoamericana.

⁶ Física. Gerthsen, Kneser, Vogel. Editorial Dossat S.A.

⁷ Física. Gerthsen, Kneser, Vogel. Editorial Dossat S.A.

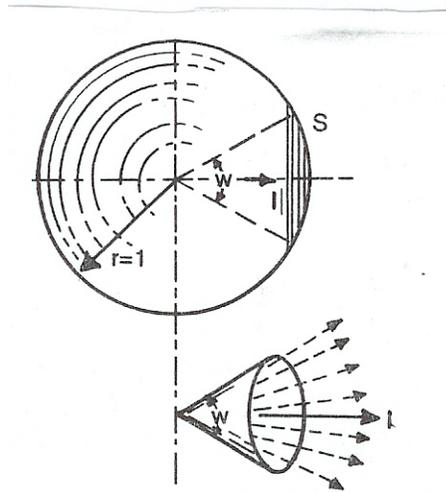
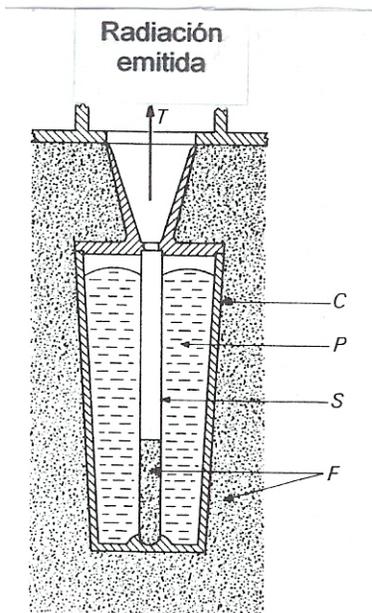


Ilustración del ángulo sólido.



El crisol *C* está rodeado de óxido de Torio *F* y contiene platino *P*. En su centro va un tubo delgado *S*, que también contiene Torio. La radiación emitida sale por el orificio *T*, que tiene un área de $1/600,000$ m². El Platino se mantiene a la Temperatura de Fusión mediante la acción de un campo magnético variable que induce corrientes eléctricas en el metal, calentándolo.

Ilustración de un cuerpo negro patrón.

II.3. Leyes de la Luminotecnia

La Luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación.

Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.- La iluminación producida sobre diferentes superficies situadas perpendicularmente a la dirección de radiación es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la fuente de luz e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (entre la fuente de luz y la superficie iluminada). Es decir:

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

Donde:

E = Iluminación, en lux (lx).

I = Intensidad luminosa, en candelas (cd).

D = Distancia, en metros (m).

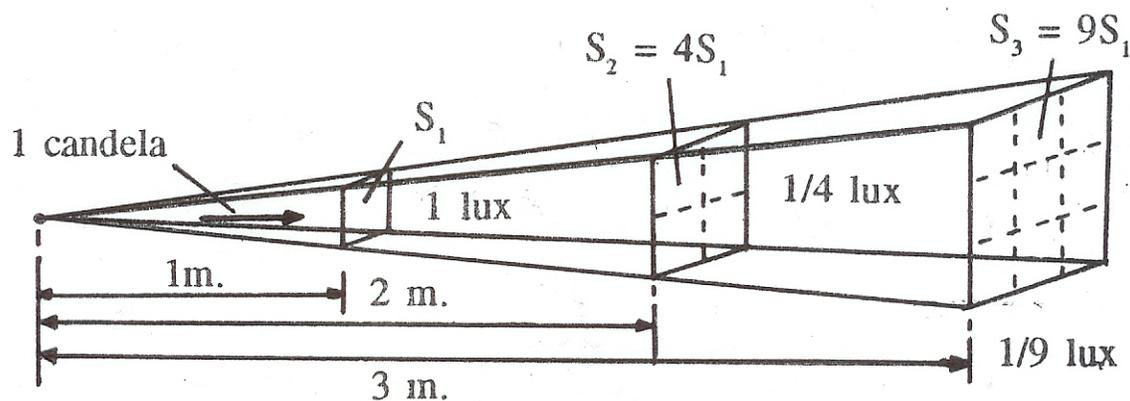


Ilustración de la Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

Ley del coseno.- La iluminación producida sobre una superficie inclinada (que no es perpendicular a la dirección de radiación) varía proporcionalmente al coseno del ángulo

de incidencia (ángulo formado por la dirección del rayo incidente y la perpendicular a la superficie).⁸

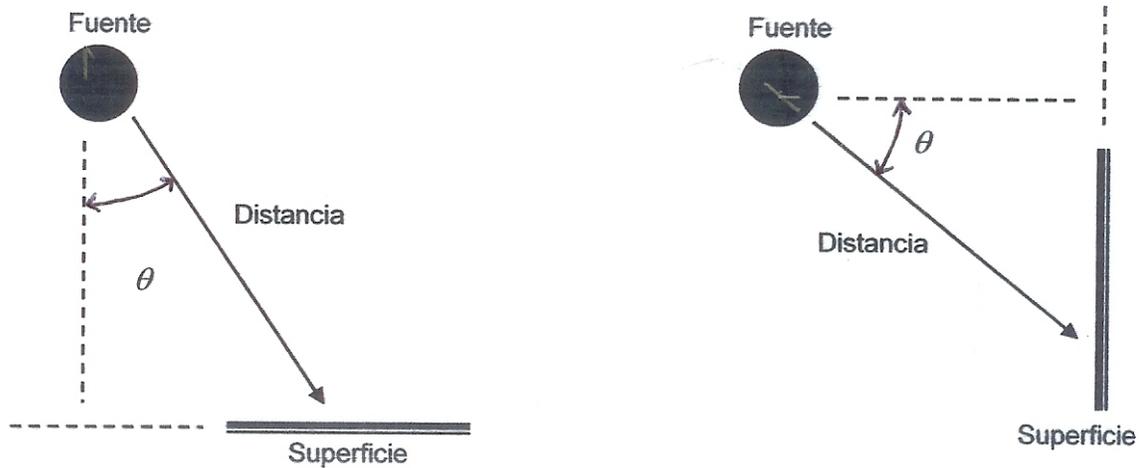
Pueden existir dos casos: En el primero que la iluminación sea sobre una superficie horizontal y el segundo cuando la iluminación sea sobre una superficie vertical. Es decir:

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

Iluminación horizontal.

$$E = \frac{I \operatorname{Sen}\theta}{D^2}$$

Iluminación vertical.



Ilustraciones de la Ley del Coseno.

Donde:

E = Iluminación, en lux (lx).

I = Intensidad luminosa, en candelas (cd).

D = Distancia, en metros (m).

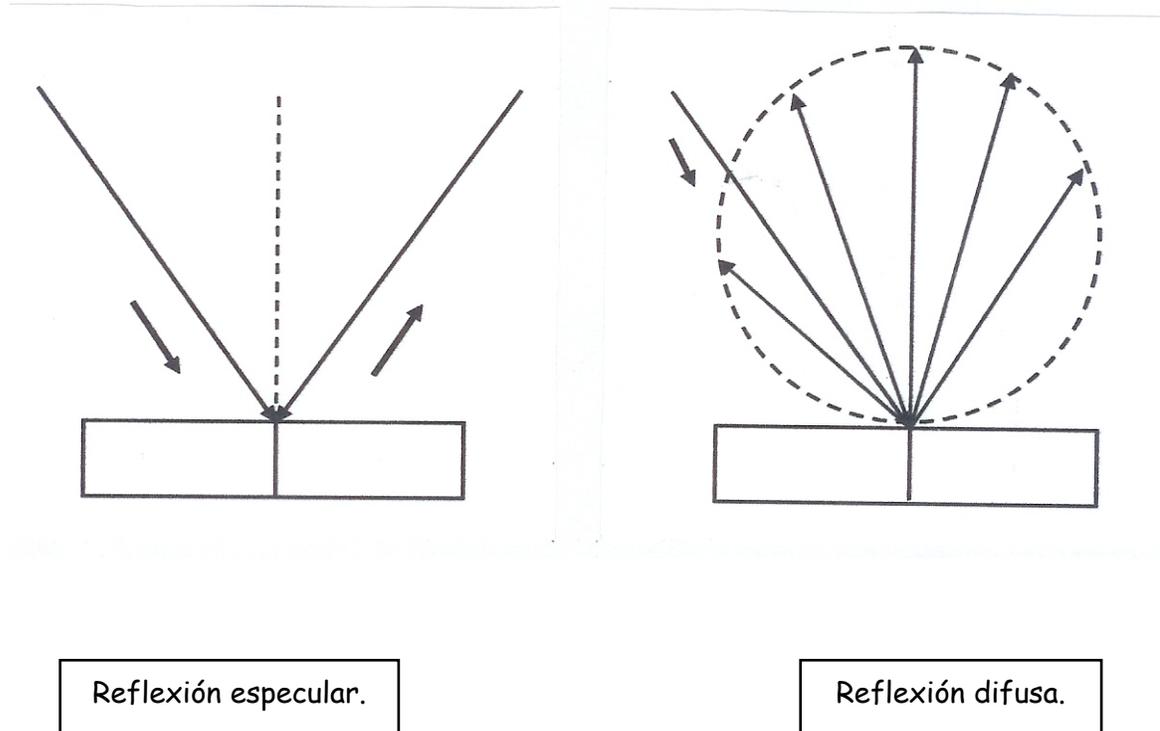
θ = Ángulo de incidencia (adimensional).

II.4. Luz y materia

⁸ Manual del alumbrado Westinghouse, 3ra. Edición. Reimpresión 1979. Editorial Dossat S.A.

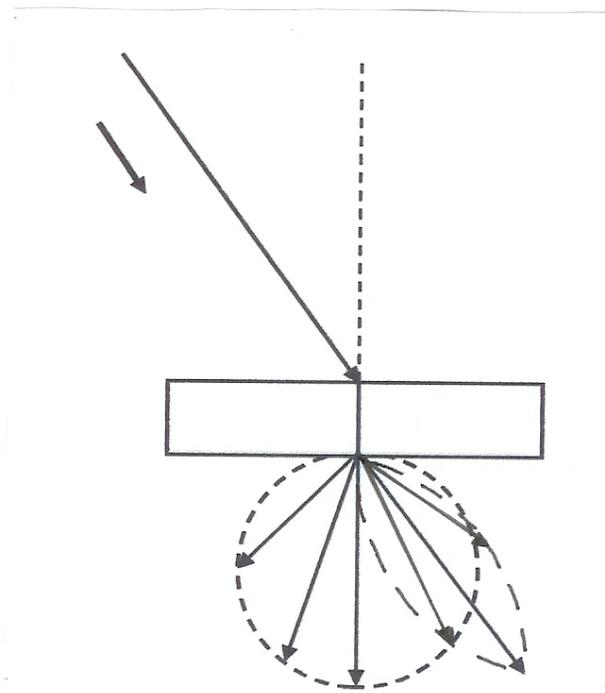
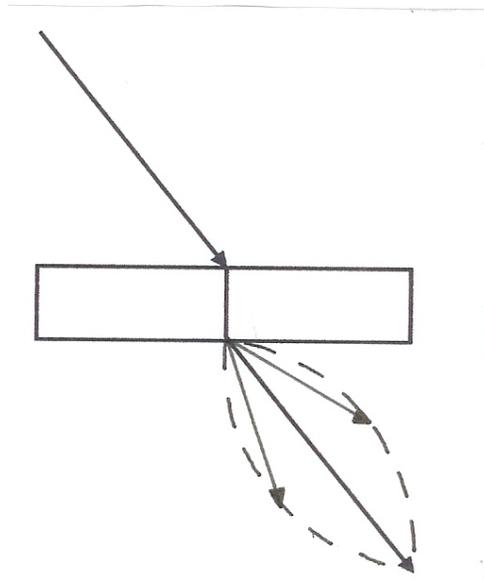
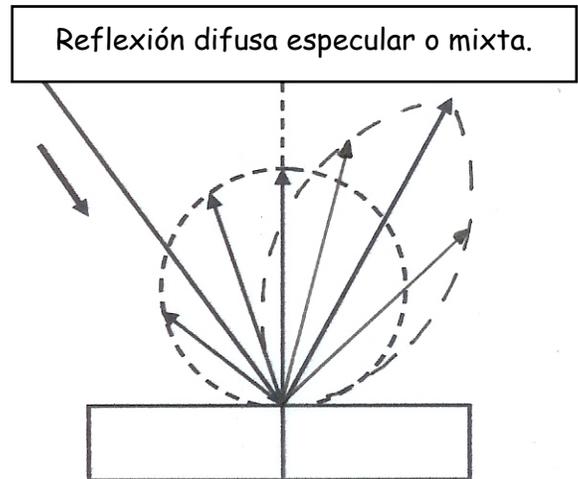
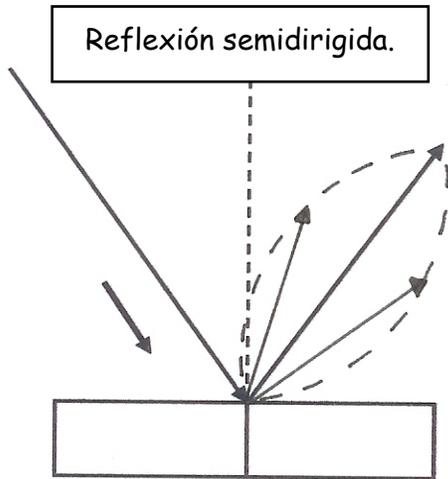
Para poder utilizar la luz de una manera más eficiente es necesario ejercer un control sobre las fuentes de luz, dicho control se puede llevar a cabo por medio de los siguientes fenómenos físicos de la luz.

Reflexión.- Este fenómeno se presenta cuando la luz que incide sobre la superficie de un objeto es “rebotada” por la superficie de dicho objeto. La reflexión puede ser especular, difusa, semidirigida y difusa especular o mixta.



Transmisión.- Este fenómeno ocurre cuando la luz pasa a través de los cuerpos. Cuando la luz se propaga sin variar su dirección⁹ se dice que existe transparencia (permite contemplar las imágenes a través de la materia). Cuando la luz se descompone en diversas direcciones se habla de cuerpos translúcidos (permiten ver la luz pero no las imágenes). A semejanza de la reflexión la transmisión puede ser dirigida, difusa, difusa semidirigida y mixta.

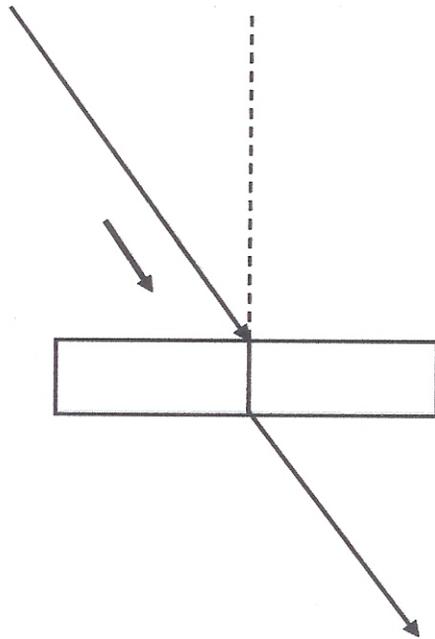
⁹ En realidad, la luz en la transmisión siempre varía de dirección ya que atraviesa cuerpos de densidad diferente. Sin embargo, si las superficies de entrada y salida de la luz son paralelas, se produce un desplazamiento pero no se altera la dirección lo cual permite la transmisión de imágenes.



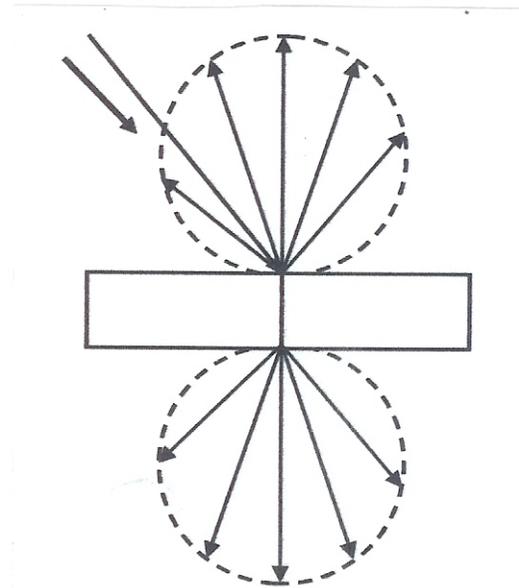
Transmisión difusa semidirigida.

Transmisión mixta.

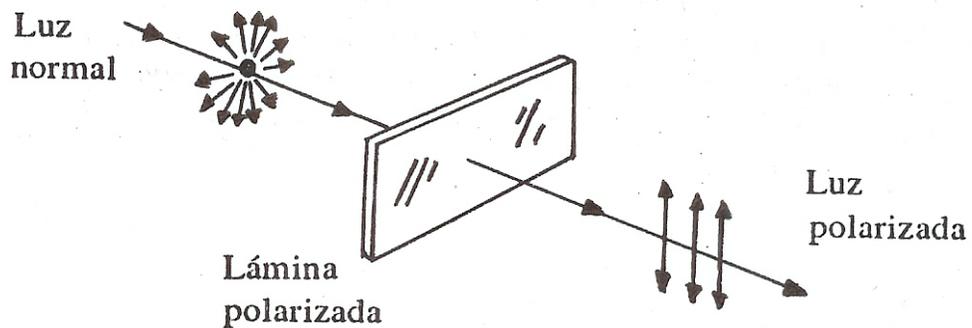
Polarización.- La luz se propaga en forma de vibraciones transversales en todas direcciones y sentidos pero existen cuerpos con la propiedad de que al ser atravesados por luz blanca dejan pasar vibraciones en un plano y las demás las elimina, es decir, la luz polarizada es aquella que tiene orientadas sus vibraciones en un solo plano.



Transmisión dirigida.

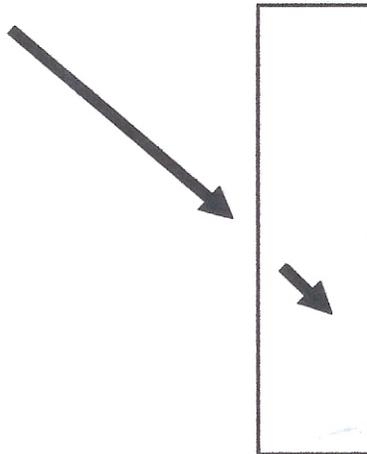


Transmisión difusa.



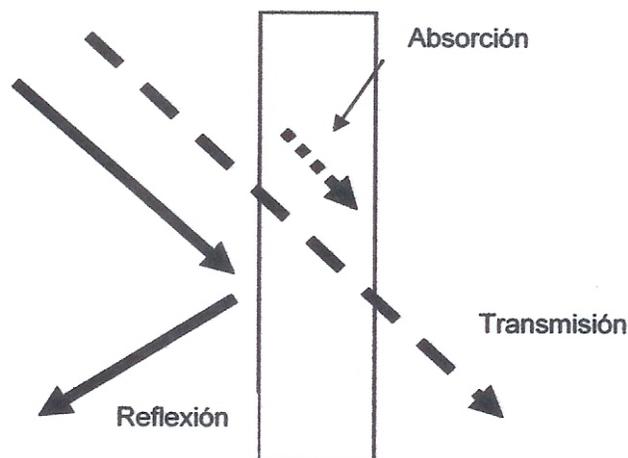
Polarización.

Absorción.- Es la propiedad que tienen los cuerpos (en mayor o menor grado) de absorber una parte de la luz que incide sobre ellos. Las consecuencias de esta propiedad son el color de los objetos, el calentamiento de los mismos, reacciones químicas y otras.



Absorción.

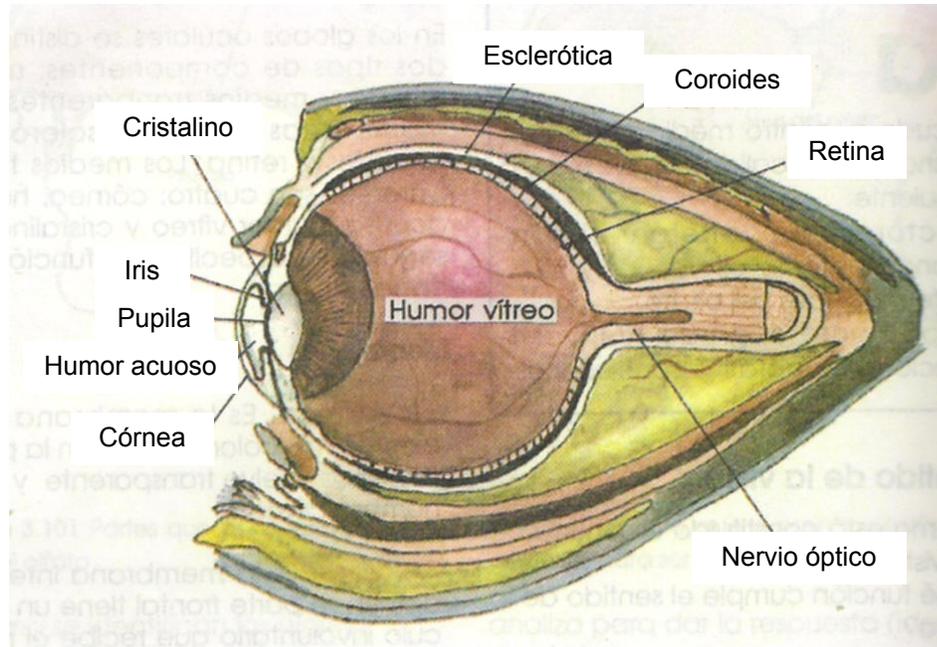
Fenómenos mixtos.- En la realidad los fenómenos antes descritos se presentan en conjunto ya que no existen cuerpos que reflejen, transmitan, absorban o polaricen la luz al 100%, se dice que existe algún fenómeno en particular porque es el que predomina.



Fenómenos mixtos.

II. 5. El ojo humano

El ojo es el órgano que percibe las sensaciones de luz y color (radiaciones luminosas), por medio del fenómeno denominado sensación visual y tiene como función transformarlas en impulsos nerviosos para que sean enviados al cerebro y este efectúe el proceso de visión llamado percepción visual.



Corte transversal del ojo humano.

Donde:

- Cornea.- Es una membrana transparente situada en la parte frontal que protege al ojo.
- Iris.- Es la parte de color del ojo y es un diafragma muscular encargado de controlar el tamaño de la pupila. Cuando existe luz baja el iris dilata la pupila y cuando existe luz alta la contrae.
- Pupila.- Es una abertura en el iris y es la encargada de regular la luz que entra al ojo.

- Humor acuoso.- Es un líquido claro situado detrás de la cornea, cuyo objetivo es enfocar los rayos luminosos sobre la retina, por medio de los músculos ciliares puede variar su curvatura acomodando automáticamente la visión para diferentes distancias.
- Coroides.- El cristalino se prolonga por la parte interior del ojo por medio de una membrana llamada coroides, destinada a contener la parte más sensible a la luz, la retina.
- Retina.- Es una delgadísima membrana que está muy sensibilizada, sobre ella se forman imágenes luminosas. En la retina existen dos tipos de estructuras llamadas bastones y conos, los conos responden únicamente a la luz brillante y son particularmente responsables de la detección y de la distinción del color, mientras que los bastones son sensibles a la luz muy débil, al movimiento y a las ligeras variaciones en la intensidad de la luz.
- Nervio óptico.- Las imágenes impresas en la retina pasan al nervio óptico que las conduce al cerebro, donde tiene lugar la verdadera percepción luminosa, es decir que las imágenes que se forman en el ojo, sólo el cerebro es capaz de interpretarlas.
- Esclerótica.- Es la membrana más externa, de color blanco, en la parte frontal se vuelve transparente y se le nombra cornea.
- Humor vítreo.- Se le llama así por su aspecto similar al vidrio fundido.

El proceso de visión es una gran maravilla con la que cuentan los seres humanos, a continuación se describe brevemente este proceso.

La luz penetra a los ojos a través de la cornea, después pasa por el humor acuoso, atraviesa la pupila y sigue su trayectoria por el cristalino y por el humor vítreo, para llegar hasta la retina donde los conos y bastones reciben el estímulo luminoso, además de formarse la imagen invertida.

El nervio óptico recoge los estímulos para llevarlos hasta el cerebro y al entrar a la cavidad craneal, las fibras de la retina sufren un entrecruzamiento, llamado quiasma óptico, y es así como se obtiene la posición correcta de la imagen.

Cuando el estímulo llega hasta el área visual del cerebro, se analizan todas las características de la imagen ya correcta y de esta forma se genera una respuesta.

II.5.1. Adaptación

Es el proceso mediante el cual se controla la cantidad de luz que percibe el ojo. Dicho de otra forma, es el proceso que el ojo realiza cuando la persona pasa de un lugar oscuro a otro bien iluminado o viceversa. Para que la persona pueda ver bien cuando alterna su estancia en lugares con diferentes niveles de iluminación el ojo debe adaptarse.

II.5.2. Acomodación

Es el proceso mediante el cual se controla la distancia a la cual puede ver el ojo. Dicho de otra forma; es cuando la persona pasa de percibir objetos cercanos a objetos lejanos o viceversa. Para que la persona pueda ver bien cuando alterna la vista sobre objetos situados a diferentes distancias el ojo debe acomodarse.



Capítulo III.

Lámparas fluorescentes compactas.

III.1. Tipos de lámparas

La tecnología está en una constante evolución, es por ello que en la actualidad existen diversos tipos de lámparas. Algunas han evolucionado en la diversidad de formas, otras ofrecen mayor eficiencia, algunas han reducido su tamaño y por consecuencia su peso.

La época en que el ser humano iluminaba los espacios que ocupaba con antorchas, velas o quinqués, para la mayoría de las personas, hoy parece una fantasía, no solo por la enorme gama de lámparas que existen, sino también por las que van surgiendo.

A continuación se mencionan los productos que ofrecen dos de las empresas más importantes del mundo de la iluminación: Osram y Philips, y con fines ilustrativos se presentan algunas imágenes de la amplia gama de productos que tienen disponibles.

Lámparas incandescentes.- El primer tipo de lámparas que surgió y la más vendida en cuanto a número de unidades se refiere.



Imagen de una lámpara incandescente.

Lámparas de halógeno¹.- Son lámparas incandescentes a las cuales se les ha agregado halógeno, aumentando con ello sus beneficios.



Imagen de una lámpara de halógeno.

¹ Se llama halógenos a los compuestos que contienen los elementos del grupo VII (flúor, cloro, bromo iodo y astato)

Lámparas fluorescentes lineales.- Famosas por ahorrar energía hoy se busca reducir sus diámetros.



Imagen de una lámpara fluorescente lineal.

Lámparas de descarga de alta intensidad.- Ideales para iluminar grandes espacios.



Imagen de una lámpara de descarga de alta intensidad.

LED's.- Diodos emisores de luz, semiconductores que convierten energía eléctrica en luz de forma directa, ya no sólo son simples "foquitos", hoy integran módulos e incluso módulos en tarjetas de circuitos impresos separables.



Imagen de un modulo de LED's (Diodo Emisor de Luz).

Existen más tipos de lámparas: de luz ultravioleta, infrarroja, entre otras, y sin duda seguirán surgiendo otras más.

III.2. Antecedentes

Este tipo de lámparas surgieron con el objetivo de sustituir a las lámparas incandescentes, proporcionando una mayor eficiencia y vida. La aceptación que han tenido entre los usuarios ha ido en rápido crecimiento ya que se pueden usar tanto en iluminación interior como exterior, motivo por el cual los tipos y modelos han experimentado una constante evolución.

El origen de las lámparas fluorescentes compactas se remonta a la década de los años 70's, del siglo XX aunque la primera lámpara de este tipo que se comercializó apareció hasta 1980.

Este tipo de lámparas son en realidad la compactación de los tubos fluorescentes lineales que ya existían. Lo que se buscaba, era precisamente aprovechar las ventajas de dichos tubos lineales pero que pudieran sustituir fácilmente a las lámparas de incandescencia que hasta el día de hoy son las de mayor consumo en cuanto a número de unidades se refiere.

III.3. Construcción

Para distinguir las partes que conforman una lámpara fluorescente compacta se puede dividir en dos partes: la conformación del tubo fluorescente y las partes que permiten el funcionamiento de dicho tubo.

III.3.1. Conformación del tubo fluorescente.

- a) Tubo de descarga.- Es de vidrio tubular, cuyo diámetro y la longitud varían de acuerdo al modelo.
- b) Polvos fluorescentes.- Son compuestos químicos purificados en alto grado que manifiestan fluorescencia y activadores; estos últimos son los que determinan las características espectrales de la lámpara.

Estos polvos son los que determinan las características de la luz emitida, fijan la temperatura de color y el IRC además de que influyen en la eficiencia de la lámpara.

- c) Electrodo.- Son filamentos de wolframio arrollados en espiral doble o triple y revestidos con sustancias emisivas. El agotamiento de dichas sustancias emisivas, que se observa por el ennegrecimiento de los extremos del tubo, es lo que determina el final de la vida de una lámpara.

- d) Gas de relleno.- Consiste en una mezcla de gas noble² y vapor de mercurio saturado. El mercurio que se introduce en el interior del tubo puede estar en estado natural o en forma de vapor.

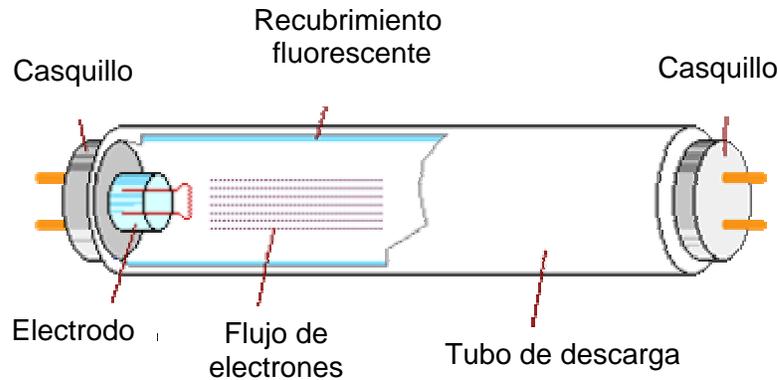


Imagen que muestra las partes que conforman un tubo fluorescente.

III.3.2. Partes que conforman a una lámpara fluorescente compacta.

- a) Tubo fluorescente compacto.- Es donde se realiza la transformación de la energía eléctrica a luz ultravioleta y posteriormente a luz visible.
- b) Balastro electrónico.- Es el elemento que se encarga de regular la corriente que requiere la lámpara para poder funcionar.
- c) Casquillo.- Es el elemento que conecta a la lámpara con la fuente de energía.

III.4. Funcionamiento

Una lámpara fluorescente compacta es una lámpara de vapor de mercurio a baja presión. Este tipo de lámparas basan su funcionamiento en dos fenómenos: La descarga en gas y la fluorescencia, que son casos particulares de la Luminiscencia y la Fotoluminiscencia respectivamente.

En el interior de un tubo sellado con electrodos, se introduce un gas inerte y una pequeña cantidad de mercurio a baja presión. La mayor parte de la radiación que emiten estas lámparas es de tipo ultravioleta (alrededor del 96%), y sólo una pequeña parte es luz visible (4%).

² Los gases nobles son elementos químicos que tienden a no reaccionar con otros elementos. específicamente los gases nobles son: Helio, Neón, Argón, Kriptón, Xenón y Radón.

La finalidad de hacer que la mayor parte de la radiación sea del tipo ultravioleta es que dicha radiación se puede manipular a través de la composición de polvos fluorescentes que se adhieren a las paredes del interior del tubo sellado. Es con ayuda de estos polvos fluorescentes como se puede modificar la radiación ultravioleta a luz visible y obtener las distintas cualidades de color.

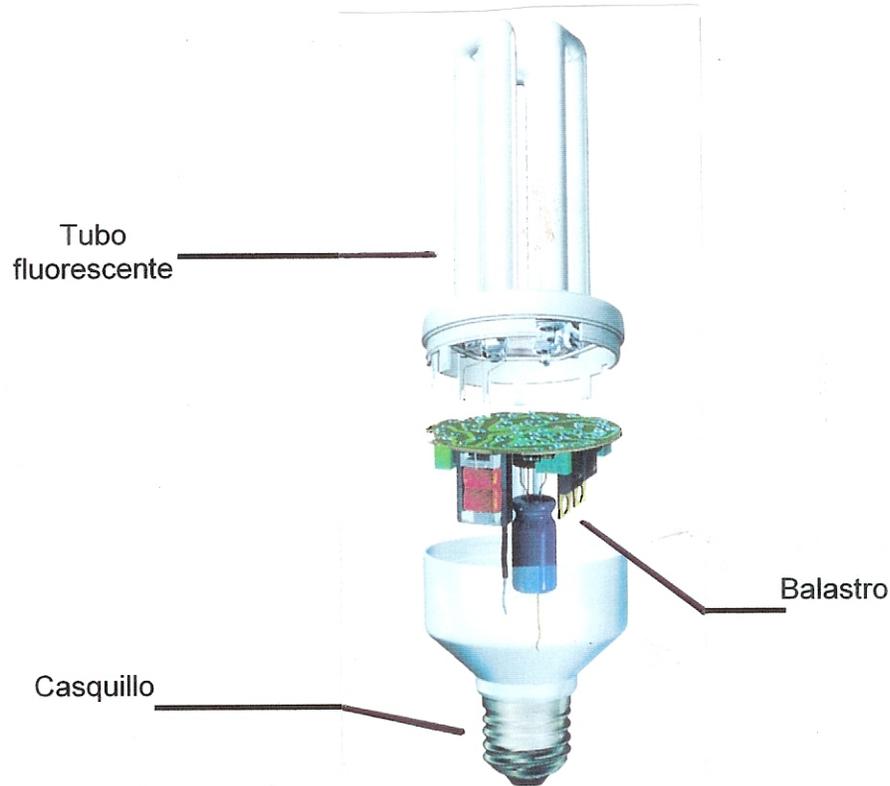


Imagen que muestra las partes que conforman una lámpara fluorescente compacta.

Para obtener el arco de descarga en el interior del tubo, los electrodos, situados en los extremos del tubo, están conformados por una pequeña resistencia y conectados a través de un cebador o bimetálico alojado dentro de una cápsula rellena con gas inerte³. También se agrega al circuito, en serie, una reactancia inductiva.

Cuando la lámpara se energiza (se le aplica energía eléctrica), se produce una corriente en retraso con respecto a la tensión, esto por tratarse de un circuito inductivo. Esta corriente que atraviesa los electrodos resistivos ocasiona que se calienten y a su vez dichos electrodos calientan el interior del tubo, preparando la atmósfera para la descarga.

³ Un gas inerte es un gas, que bajo ciertas condiciones, no reacciona químicamente con ningún otro elemento. Los gases inertes más comunes son el nitrógeno, dióxido de carbono y los gases nobles.

El bimetálico se calienta por el paso de la corriente y se deforma hasta interrumpir el circuito, entonces la corriente en retraso debería producir un arco de ruptura entre las dos terminales del bimetálico, pero al encontrarse en un ambiente inerte no es posible ionizarlo, por lo cual el arco se establece por el interior del tubo, ocasionando con esto los destellos que se observan al arranque de la lámpara.

El proceso anterior se repite hasta que el mercurio se ha vaporizado por completo y se estabiliza la descarga en el interior del tubo, es en ese momento cuando la reactancia funciona como limitadora de corriente.

Por tratarse de un circuito inductivo el factor de potencia es bajo y se debe mejorar incorporando una reactancia capacitiva.

III.5. Tipos

Básicamente al hablar de estas lámparas se encuentran dos tipos y que son:

1. Lámparas fluorescentes compactas integradas.- Están conformadas en una sola unidad, por el tubo fluorescente (que puede constar, según el modelo, de uno, dos o tres tubos doblados o unidos en su extremo), cebador y balastro. El casquillo más común es del tipo Edison (E-27) y pueden sustituir en forma directa a las lámparas incandescentes en su propio soquet o portalámparas.



Imagen de una lámpara fluorescente compacta integrada.

2. Lámparas fluorescentes compactas no integradas.- Estas lámparas están conformadas por una base y un casquillo con pitones, por lo cual necesitan un equipo auxiliar y un portalámparas especial.



Imagen de una lámpara fluorescente compacta integrada.

III.6. Ventajas y desventajas

Este tipo de lámparas surgieron con el objetivo de sustituir a las lámparas incandescentes, por lo cual al hablar de ventajas y desventajas se debe hacer comparando ambos tipos de lámparas.

III.5.1. Ventajas

- Mayor vida promedio.
- Mayor eficiencia.
- Ahorran energía.

III.5. Desventajas

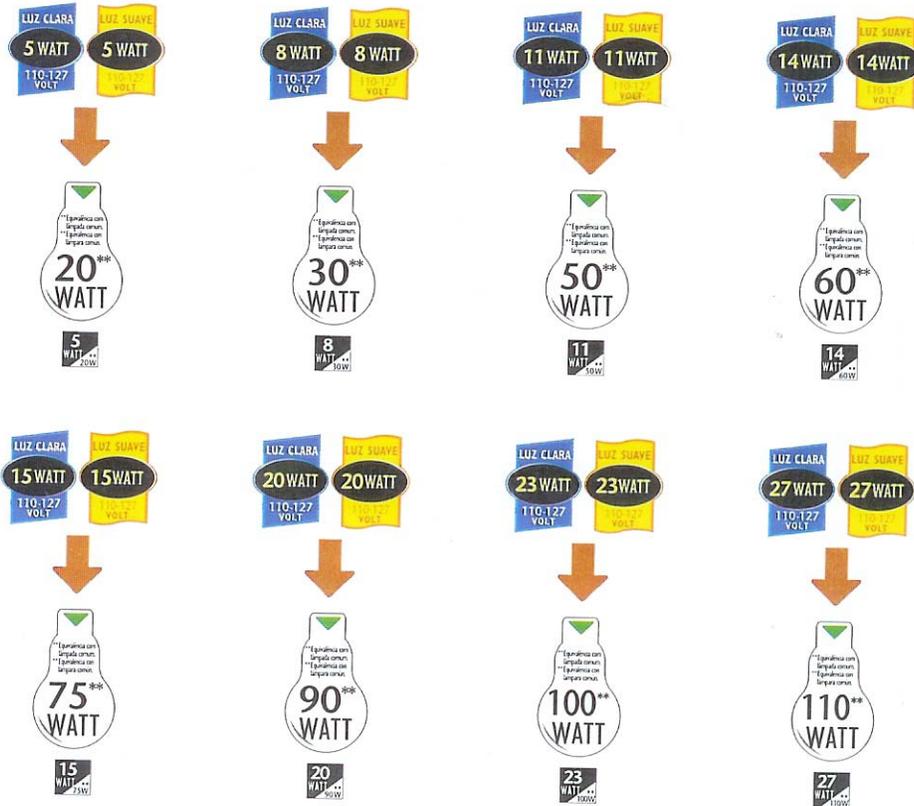
- Mayor costo económico.
- Mayor peso.
- Bajo IRC.⁴
- Bajo factor de potencia.

La tabla III.1., muestra una comparación entre una lámpara incandescente y una fluorescente compacta integrada, ambas productos Osram.

⁴ Para aplicaciones donde se requiere reproducir fielmente el color de los objetos a iluminar.

Tabla III.1. Comparación entre una lámpara incandescente y una lámpara fluorescente compacta

Variable	Incandescente (Classic)	Fluorescente compacta integrada (Dulux El Twist)
Voltaje de alimentación	125 volts	127 volts
Casquillo	E – 26	E – 26/E – 27
Potencia consumida	100 watts	23 watts
Flujo luminoso	1,560 lúmenes	1,400 lúmenes
Eficiencia	1.56 lm/w	60.86 lm/w
Vida promedio	1000 horas	6,000 horas



Equivalencia entre lámparas incandescentes y lámparas fluorescentes compactas.



Imagen que muestra algunas lámparas fluorescentes compactas.

Capítulo IV.

Casos de Aplicación.

Diseñar un sistema de iluminación requiere de un proceso que conduzca a definir los elementos adecuados que conformaran dicho sistema, tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales habrán de funcionar y los objetivos que se desean alcanzar con dichos elementos.

Para un sistema de iluminación el significado de adecuado implica que existe un equilibrio entre todos los aspectos que deben considerarse al diseñar dichos sistemas, como son: nivel de iluminación, funcionalidad y economía.

Un sistema de iluminación tiene como objetivo satisfacer las condiciones visuales que se requieren en cada una de las diversas actividades que realiza el ser humano.



Imagen que ilustra uno de los muchos y variados espacios que ocupa el ser humano.

IV.1. Nivel de iluminación

El ser humano realiza diversas actividades, cada una de ellas requiere diferentes niveles de iluminación, es decir, mientras la actividad a realizar implique mayor exactitud también se requerirá de una mayor y mejor iluminación.

Para ejemplificar lo anterior se pueden comparar los sistemas de iluminación de dos áreas destinadas a objetivos diferentes: el primero debe iluminar una pequeña bodega, las exigencias por consecuencia podrán ser mínimas. El segundo sistema estará destinado a iluminar un hospital, las exigencias del lugar serán muy altas y variadas, tomando en cuenta que existirá una sala de operaciones, una sala de rayos X, consultorios.

En la Tabla IV.2. (página 72), se presentan algunos niveles de iluminación recomendados por la Illuminating Engineering Society (I. E. S.), y la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación (S. M. I. I.). Dichos niveles se han obtenido de pruebas realizadas en laboratorios.

IV.2. Lámparas

En la actualidad existe una gran variedad de lámparas cada una de las cuales posee características que bajo ciertas condiciones la convertirán en la mejor opción para alcanzar los objetivos planteados.

IV.3. Luminarias

La luz que producen y emiten las lámparas se distribuye en el espacio en direcciones e intensidades que dependen de las características constructivas de cada lámpara. Dicha distribución en muchas ocasiones puede resultar inadecuada, esto debido a que pueden enviar luz a zonas que no interese iluminar o producir intensidades muy elevadas que ocasionaran molestia visual a los observadores.

Para solucionar el problema antes descrito se utilizan luminarias. La luminaria es el elemento que se encarga de adaptar la distribución luminosa original a otra de modo tal que cubra las necesidades propias de cada aplicación.

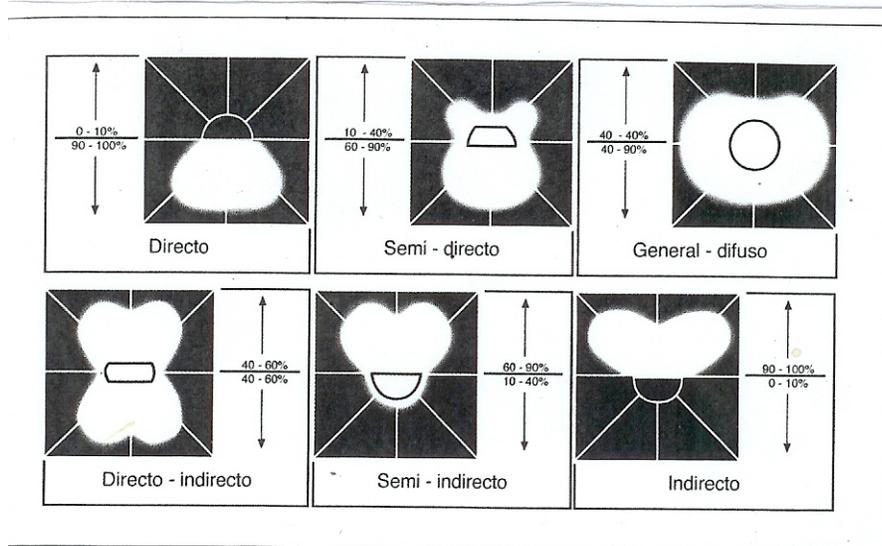
La función principal de una luminaria es controlar la distribución luminosa de la lámpara o lámparas que alberga pero también cumple funciones como pueden ser: protección, mecánica, decorativa.

De la misma forma que existe una amplia variedad de lámparas también existen luminarias de diversas formas, tamaños, material de construcción. La combinación de lámparas y luminarias puede variar, elegir la correcta dependerá de los objetivos que se buscan alcanzar en cada aplicación.

Las luminarias se clasifican de acuerdo a la forma en que distribuyen la luz que producen las lámparas que albergan. Dicha clasificación consiste en¹:

- Directa
- Semi-directa
- General-difusa
- Directa-indirecta
- Semi-indirecta
- Indirecta

¹ Manual de Luminotecnica Osram. Ramón San Martín Páramo.



Clasificación de lámparas de acuerdo a la forma en que irradian la luz que producen.

Cada tipo de lámpara posee características que en cierto momento la convertirán en la mejor opción para una aplicación específica.

IV.4. Métodos de iluminación

Existen diversas técnicas para iluminar un área o lugar, la elección de alguna técnica en particular dependerá del objetivo que se desea alcanzar.

IV.4.1. Alumbrado general

Un alumbrado general tiene como objetivo proporcionar una iluminación uniforme, es por ello que las lámparas se colocan en forma simétrica.

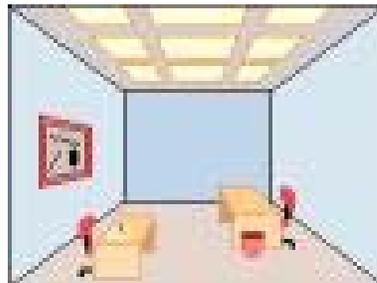


Imagen que muestra un alumbrado general.

IV.4.2. Alumbrado general localizado

En este tipo de alumbrado se colocan las lámparas en las áreas donde se requiere un alto nivel de iluminación y a su vez la luz emitida sirve para iluminar las áreas contiguas.

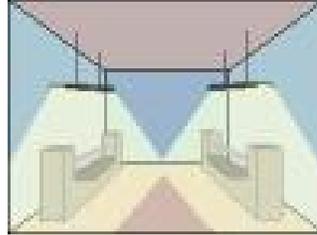


Imagen que muestra un alumbrado general localizado.

IV.4.3. Alumbrado suplementario

Este tipo de alumbrado se utiliza cuando en ciertos puntos se requiere un alto nivel de iluminación y no se puede satisfacer con las técnicas de alumbrado anteriormente descritas o se requiere de luz direccional.

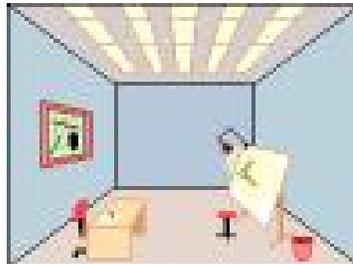


Imagen que muestra un alumbrado suplementario.

IV.5. Color

Al hablar de color se deben tomar en cuenta dos aspectos expuestos en el Capítulo II: Temperatura de color e Índice de reproducción cromática (IRC).

Existen casos en los que el objetivo principal es crear un efecto decorativo o llamativo; es decir, al iluminar un área u objeto se hace con la finalidad de que sea más atractivo o se distinga del resto. Por ejemplo:

1. En algunos espectáculos se emplean reflectores que proporcionan luz de color (roja, azul, verde). En dichos casos se toma en cuenta la temperatura de color.
2. También existen casos en los que lo que se busca es que el color de los objetos a iluminar sean los reales y no sean modificados al ser bañados por la luz de las lámparas. En estos casos interviene el índice de reproducción cromática.

IV.6. Mantenimiento

La iluminación que proporciona todo sistema disminuirá con el paso del tiempo, esto debido a factores como el uso y envejecimiento de las lámparas, acumulación de polvo en las superficies de las mismas y de los espacios iluminados.

Es necesario tener en cuenta la vida promedio de las lámparas y diseñar programas de mantenimiento para limpiar y/o cambiar a las mismas, para poder tener siempre sistemas de iluminación en óptimas condiciones.

Otro factor que se debe tener en cuenta es la accesibilidad de las instalaciones, es decir, que tan fácil o complicado será tener acceso a las lámparas. Aquí se deben considerar factores como la altura a la cual estarán ubicadas las lámparas, si el área debajo de las mismas estará libre y cuantas horas al día estarán en funcionamiento.

IV.7. Coeficiente de utilización

Se llama coeficiente de utilización (CU) al número de lúmenes que finalmente llegan al plano de trabajo, esto con relación al número de lúmenes generados por la lámpara. Los valores del coeficiente de utilización son necesarios para calcular los niveles de iluminación promedio y los proporciona el fabricante por medio de una curva de utilización (aplicaciones exteriores), o bien en una tabla (aplicaciones en interiores). El valor del coeficiente de utilización dependerá por consecuencia del tipo de luminaria que se utiliza en cada sistema de iluminación.

IV.8. Reflexión

El material con el cual se construyen los locales y el color de paredes, techos y pisos también influye en los niveles de iluminación, esto debido a que del total de luz que emiten las lámparas y distribuyen las luminarias, una parte llega al plano de trabajo, otra parte es absorbida por paredes, techo y piso, y otro porcentaje es reflejado por los mismos. En la Tabla IV.1., se presenta una tabla con porcentajes de reflexión **aproximados** para algunos materiales y colores.

Tabla IV.1. Porcentaje de reflexión.

Tono	Color	Reflexión (%)
Muy claro	Blanco nuevo	88
	Blanco viejo	76
	Azul verde	76
	Crema	81
	Azul	65
	Miel	76
	Gris	83
Claro	Azul verde	72
	Crema	79
	Azul	55
	Miel	70
	Gris	73
Mediano	Azul verde	54
	Amarillo	65
	Miel	63
	Gris	61
Oscuro	Azul	8
	Amarillo	50
	Café	10
	Gris	25
	Verde	7
	Negro	3
Superficies de madera	Maple	43
	Nogal	16
	Caoba	12
	Pino	48
Acabados metálicos	Blanco polarizado	70 – 85
	Esmalte horneado	75
	Aluminio pulido	75
	Aluminio mate	79
	Aluminio claro	59
Acabados de paredes	Roca basáltica	18
	Canela clara	18
	Tabique muy pulido	48
	Tabique rojo vidriado	30
	Tabique pulido	40
	Tabique rojo barnizado	30
	Cemento	27
	Concreto	40
	Mármol blanco	45
	Vegetación	25
	Asfalto limpio	7
	Adoquín de roca ígnea	17
	Grava	13
	Pasto (verde oscuro)	6
Pizarra	8	

IV.9. Métodos de cálculo

En la actualidad existen diversos métodos para poder diseñar sistemas de iluminación y encontrar niveles de iluminación promedio o en puntos específicos. A continuación se presentan dos de los métodos de cálculo más usados: método de cavidad zonal y el método de punto por punto, para ambos métodos se presenta un ejemplo en los cuales se utilizan luminarias Atlanta, las hojas de especificaciones se pueden observar en la sección de Anexo del presente trabajo.

IV.9.1. Método de cavidad zonal

Este método sirve para calcular los niveles de iluminación promedio en interiores, es un método manual exacto ya que toma en consideración el efecto que tiene la reflexión del lugar sobre el nivel de iluminación. El método de cavidad zonal considera que el cuarto se compone de tres espacios o cavidades. El espacio entre el techo y las luminarias, si estos se encuentran suspendidos, se le denomina “cavidad del techo”, el espacio entre el plano de trabajo y el piso se denomina “cavidad del piso” y el espacio entre las luminarias y el plano de trabajo se denomina “cavidad del cuarto”.

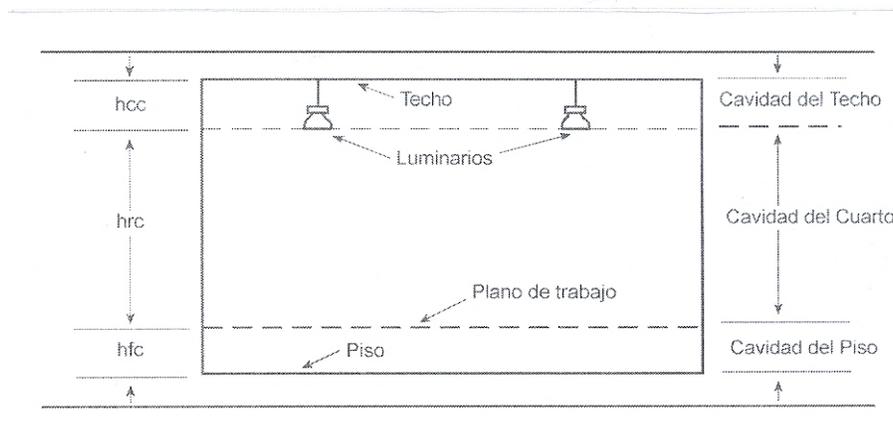


Imagen que ilustra los tipos de cavidades

Cuando los conceptos de estas cavidades han sido comprendidas se procede a calcular las relaciones numéricas llamadas “rangos de cavidad”, que se utilizan para determinar la reflexión efectiva del techo y el piso y después poder encontrar el coeficiente de utilización.

Existen cuatro pasos básicos para aplicar dicho método y son:

Paso 1. Determinar los rangos de cavidad, lo cual se logra mediante el empleo de las siguientes formulas:

$$\text{Rango de cavidad de techo (CCR)} = \frac{5 hcc (L + W)}{L \times W}$$

$$\text{Rango de cavidad de cuarto (RCR)} = \frac{5 hcr (L + W)}{L \times W}$$

$$\text{Rango de cavidad de piso (FCR)} = \frac{5 hfc (L + W)}{L \times W}$$

Donde:

hcc = Distancia en metros del luminario al techo.

hcr = Distancia en metros del luminario al plano de trabajo.

hfc = Distancia en metros del plano de trabajo al piso.

L = Largo del cuarto, en metros.

W = Ancho del cuarto, en metros.

Paso 2. Se deben determinar las reflectancias de cavidad efectivas para las cavidades de techo y piso. Estos valores los proporciona el fabricante de la luminaria mediante tablas y se determinan combinando el rango de cavidad con la reflectancia actual correspondiente. Cabe aclarar que si la luminaria se encuentra al nivel del techo o si el piso es el plano de trabajo el (CCR) o el (FCR) serán cero, por lo cual la reflectancia actual del techo o el piso serán también las reflectancias de cavidad efectivas. Los valores encontrados serán pcc (reflectancia de cavidad de techo efectiva) y pfc (reflectancia de cavidad de piso efectiva).

Paso 3. Con los valores de pcc , pfc , pw , (reflectancia de pared) y el valor de (RCR) se determina el valor del (CU), este valor se obtiene de las tablas que proporciona el fabricante para cada luminaria. Generalmente la tabla del viene dada para un valor de pfc del 20%, si el valor de pfc encontrado no equivale a este valor el (CU) debe corregirse para el valor de pfc encontrado, para ello se utiliza una tabla de corrección que también proporciona el fabricante de la luminaria. Para corregir el valor de (CU) se realiza lo siguiente:

$$(CU)_{final} = (CU)_{al\ 20\%} \times \text{Factor de multiplicación para el } pfc \text{ actual}$$

Paso 4. Se calcula el nivel de iluminación mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Nivel de iluminación} = \frac{(\# \text{ de luminarios})(\text{lámparas / luminario})(\text{lúmenes / lámpara})(CU)}{\text{Area}}$$

IV.9.1.1. Caso Práctico

Una sala de lectura de una Biblioteca mide 10 metros de largo, 5 metros de ancho y 3 metros de alto. Las reflectancias son: techo 80%, paredes 50% y piso 10%. Se desea utilizar luminarias Atlanta las cuales estarán suspendidas a 0.4 metros por debajo del techo y el plano de trabajo se encuentra a 0.8 metros por encima del piso. Encuentre el nivel de iluminación si existirán 6 luminarias en dicha sala.

Paso 1. Se calculan los rangos de cavidad:

$$CCR = \frac{(5)(0.4)(10+5)}{(10 \times 5)} = 0.6$$

$$RCR = \frac{(5)(1.8)(10+5)}{(10 \times 5)} = 2.7$$

$$FCR = \frac{(5)(0.8)(10+5)}{(10 \times 5)} = 1.2$$

Paso 2. De la tabla A, que se encuentra en el Anexo del presente trabajo, se obtienen las reflectancias de cavidad efectivas para techo y piso. Dichos valores son los siguientes:

$$pcc \text{ (reflectancia de cavidad de techo efectiva)} = 71\%$$

$$pfc \text{ (reflectancia de cavidad de piso efectiva)} = 12\%$$

$$pcc \text{ (reflectancia de pared)} = 50\%$$

Paso 3. Del reporte fotométrico se obtiene el valor de (CU) dando como resultado lo siguiente:

$$\text{Para } RCR = 2.5 \quad CU = \frac{0.45 + 0.38}{2} = 0.415$$

$$\text{Para } RCR = 2.75 \quad CU = \frac{0.415 + 0.38}{2} = 0.3975$$

(RCR)	(CU)
2	0.949
2.5	0.953
2.75	0.955
3	0.957

El valor del (CU) corresponde a una reflectancia de piso del 20%, pero en el problema planteado dicha reflectancia equivale a 10% por lo cual es necesario corregir dicho valor, para ello se utiliza la tabla B, que se encuentra en el Anexo del presente trabajo. En dicha tabla se combinan los valores de (pcc) , (pw) y (RCR) obteniendo lo siguiente:

$$\text{Para } RCR = 2.5 \quad f.m. = \frac{0.949 + 0.957}{2} = 0.953$$

$$\text{Para } RCR = 2.75 \quad f.m. = \frac{0.953 + 0.957}{2} = 0.955$$

(RCR)	$(f.m.)$
2	0.949
2.5	0.953
2.75	0.955
3	0.957

$$\text{Entonces el valor final del } CU = (0.3975)(0.955) = 0.3796125$$

Paso 4. Se calcula el nivel de iluminación:

$$\text{Nivel de iluminación} = \frac{(6)(2)(4800)(0.3796125)}{(10)(5)} = 437.3136 \text{ lux}$$

De acuerdo a la tabla IV.2., el nivel de iluminación que la S.M.I.I. recomienda para una sala de lectura de Biblioteca es de 400 luxes, por lo cual el nivel de iluminación obtenido es adecuado.

Para saber si la distancia entre las luminarias es correcta se multiplica el criterio de espaciamiento de la luminaria por la distancia de separación entre la luminaria y el plano de trabajo, el resultado debe ser mayor o igual a la distancia entre luminarias propuesto.

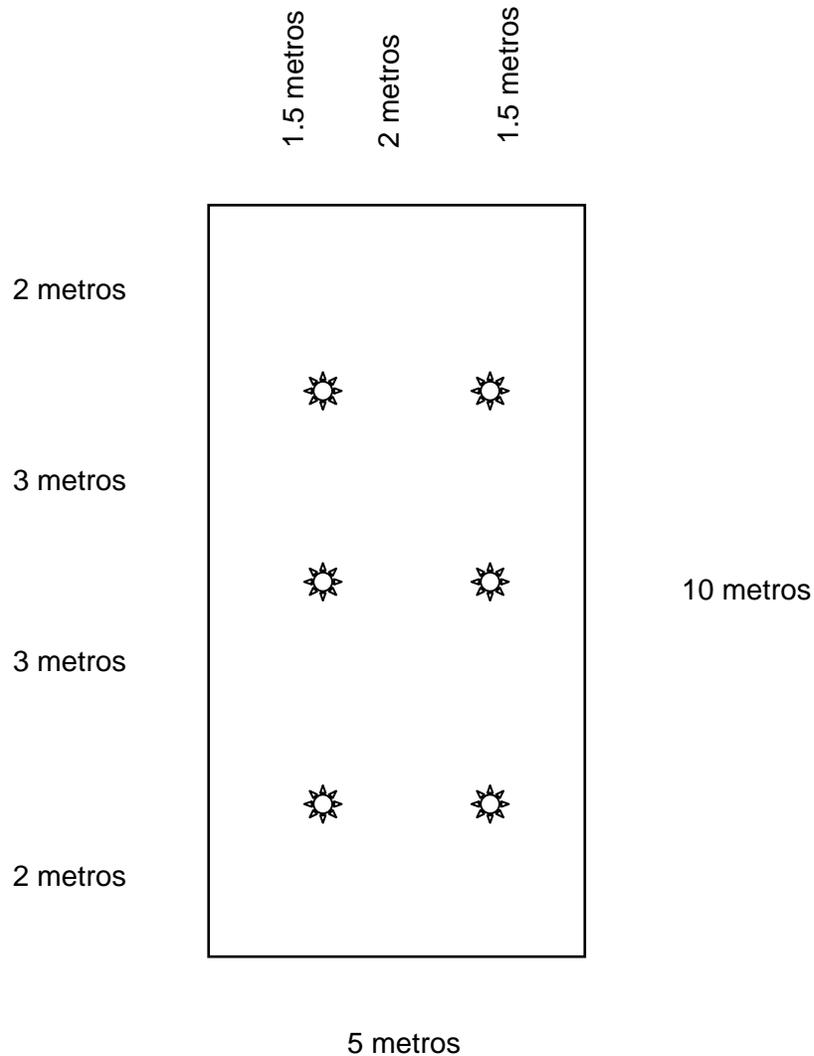
De la hoja de especificaciones se observa que:

$$\text{Criterio de espaciamiento} = 1.74$$

$$\text{Espaciamiento} = (1.74)(1.8) = 3.132 \text{ metros}$$

Dado que $3.132 \text{ metros} > 3 \text{ metros}$ la distancia propuesta es correcta.

Imagen de la disposición de las luminarias.



IV.9.2. Método de punto por punto

Este método resulta muy útil para determinar la variación de niveles de iluminación y comprobar la uniformidad en un sistema de iluminación. Se usa constantemente en el área industrial y en diseños donde no se consideran las reflexiones del local.

Calcula con exactitud el nivel de iluminación en cualquier punto dado de una instalación, esto al sumar las contribuciones de iluminación que realiza cada luminaria

hacia dicho punto. Para lograr exactitud, la distancia de la fuente al punto en estudio debe ser al menos cinco veces la dimensión máxima de la luminaria.

Para aplicar este método se requiere de tres pasos:

Paso 1. Obtener el ángulo que forman la vertical y la línea imaginaria que une a la luminaria con el punto en estudio, esto con ayuda de la siguiente ecuación:

$$\theta = \text{Tan}^{-1} \frac{\text{Distancia horizontal}}{\text{Altura}}$$

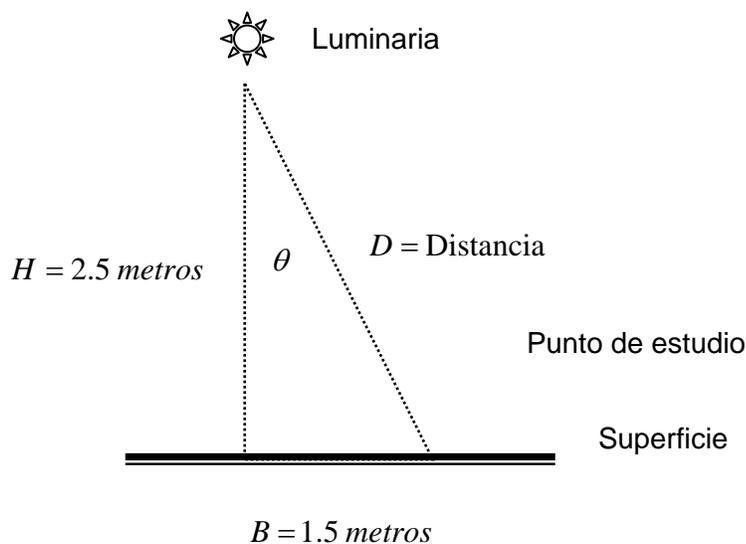
Paso 2. Del reporte fotométrico que proporciona el fabricante de la luminaria, se obtiene la intensidad luminosa que corresponde al ángulo encontrado.

Paso 3. Con ayuda de la ley del coseno se calcula el nivel de iluminación, para muchos casos resulta conveniente sustituir el valor de la distancia por el de la altura, dando como resultado lo siguiente:

$$D = \frac{H}{\text{Cos } \theta} \quad \longrightarrow \quad E = \frac{I \text{ Cos } \theta}{D^2} \quad \longrightarrow \quad E = \frac{I \text{ Cos } \theta}{(H / \text{Cos } \theta)^2} \quad \longrightarrow \quad E = \frac{I \text{ Cos}^3 \theta}{H^2}$$

IV.9.2.1. Caso práctico

Una luminaria Atlanta se monta a una altura de 2.5 metros sobre el plano de trabajo, obtener la iluminación horizontal inicial en un punto situado a 1.5 metros a un lado de dicha luminaria.



Paso 1. Se obtiene el ángulo θ :

$$\theta = \text{Tan}^{-1} \frac{1.5}{2.5} = 30.96^\circ \approx 30^\circ$$

Paso 2. Del reporte fotométrico se obtiene que para un ángulo de 30° la intensidad luminosa es 1330 candelas.

Paso 3. Utilizando la Ley del coseno ya modificada se obtiene el nivel de iluminación:

$$E = \frac{1330 \text{Cos}^3 30^\circ}{(2.5)^2} = 138.217 \text{ lux}$$

Tabla IV.2. Niveles de iluminación recomendados.

Tipo de actividad	Luxes I.E.S.	Luxes S.M.I.I.
Iglesias:		
• Altar, retablos	1,000 e	600 e
• Coro (D) y presbiterio	300 e	200 e
• Pulpito (iluminación adicional)	500 e	300 e
• Nave principal de la iglesia (iluminación general)	150 e	100 e
• Ventanales emplomados		
1. Color blanco	500	300
2. Color mediano	1,000	600
3. Color oscuro	5,000	3,000
• Ventanal muy denso	10,000	6,000
Auditorios:		
• Para exhibiciones	300	200
• Para asambleas	150	100
• Para actividades sociales	50	50
Bancos:		
• Vestíbulo (iluminación general)	500	300
• Pagadores, contadores y recibidores	1,500	900
• Gerencia y correspondencia	1,500	900
Bibliotecas:		
• Sala de lectura	700	400
• Anaqueles	300	200
• Reparación de libros	500	300
• Archiveros y catalogar	700	400
• Mesa chocadora de salidas y entradas de libros	700	400
Escuelas:		
• Salones de clase	700	400
• Salones de dibujo (sobre restirador)	1,000 a	600 a

• Lectura de movimiento de labios (sordo mudos), pizarrones, costura	1,500 a	900 a
Galerías de arte:		
• Iluminación general	300	200
• Sobre pinturas (localizado)	300	200 b
• Sobre estatuas y otras exhibiciones	1,000 c	600 c
Oficinas:		
• Proyectos y diseño	2,000	1,100
• Contabilidad, auditoria, máquinas de contabilidad	1,500	900
• Trabajos ordinarios de oficina, selección de correspondencia, archivado activo o continuo	1,000	600
• Archivado intermitente o discontinuado	700	400
• Sala de conferencias, entrevistas, salas de receso, archivos de poco uso o sean las áreas en las cuales no se exige la fijación de la vista en forma prolongada	300	200
Peluquerías y salones de belleza:	1,000	600
Hoteles:		
• Recamaras		
1. Iluminación general	100	60
2. Para lectura y escritura	300 h	200 h
3. Administración	500	300
• Vestíbulo		
1. Áreas de trabajo y lectura	300	200
2. Iluminación general	100	200
3. Marquesina	500	300
Residencias		
• Tareas visuales específicas:		
1. Juegos de mesa	300	200
2. Cocina (sobre fregadero u otra superficie de trabajo)		
3. Lavadero, mesa de planchado	500	300
4. Cuarto de estudio (sobre escritorio)	500	300
5. Costura	700	400
• Iluminación general:	1,000	600
1. Entradas, halls, escaleras y descanso de escaleras		
2. Salas, comedores, recamaras, cuartos de estudio, biblioteca y cuartos de recreo o juego	100 m	60 m
3. Cocina, lavandería, cuarto de ban	100 m	60 m
	300	200
Baños y tocadores:		
• Iluminación general	100	60
• Espejo	300 g	200 g
Jardines (p):		
• Iluminación general	5	5
• Senderos, escalones, lejanos de la casa	10	10
• Sin espectadores	200	200
• Recreativo exterior	100	100

Notas:

- a. Se puede obtener con la combinación de alumbrado general y alumbrado suplementario especializado, manteniendo las relaciones de brillantes recomendadas. Estas tareas visuales generalmente hacen intervenir la discriminación de los detalles delicados por largos periodos de tiempo y bajo condiciones de contraste reducido. Para dar la iluminación requerida, es necesario usar una combinación del alumbrado general antes indicado más el alumbrado suplementario especializado. El diseño e instalación de estos sistemas combinados no deberá únicamente proveer una cantidad suficiente de luz, sino que también deberá dar la dirección apropiada a la luz, difusión y además protección al ojo humano. Deberá también, tanto como sea posible, eliminar el deslumbramiento directo o reflejado como sombras desagradables.
- b. Las pinturas o cuadros con colores oscuros y con detalles delicados o finos deberán tener una iluminación de 2 a 3 veces mayor.
- c. En algunos casos, una iluminación mayor de los 1000 luxes, es necesaria para hacer resaltar la belleza de las estatuas.
- e. Si los acabados interiores son oscuros (menos de 10% de reflexión), la iluminación será de 2/3 partes del nivel recomendado para evitar altos contrastes en brillantez, como en el caso de las páginas de los libros de salmos o cantos y el medio semiobscuro que lo rodea. Es esencial un deseo cuidadoso para evitar brillantez desagradable.
- g. Para inspección minuciosa, 500 luxes.
- h. Los manuscritos a lápiz y la lectura de reproducción y copias pobres requieren 700 lux.
- m. La iluminación general de estas áreas no necesariamente tiene que ser muy uniforme.
- p. Estos valores están basados en un 25% de reflexión, ya que es el promedio de reflexión de la vegetación y superficies exteriores típicas. Estos valores se deben ajustar para las reflexiones de materiales específicos iluminados, para obtener una brillantez equivalente. Estos niveles dan una brillantez satisfactoria cuando son vistos desde interiores o terrazas en penumbra. Cuando son vistos desde áreas oscuras se pueden cuando menos a la mitad o se pueden duplicar cuando se desee un efecto más dramático.

Conclusiones.

La función de un sistema de iluminación es proporcionar la cantidad necesaria y el tipo adecuado de luz para que las personas puedan realizar sus diversas actividades, sin que esto implique una fatiga visual y por el contrario proporcione un ambiente agradable y confortable.

El diseño de un sistema de iluminación es un proceso que puede variar entre lo muy sencillo y lo sumamente complejo. Dicha variación dependerá de las variables que intervengan en cada uno de los sistemas en estudio.

Las variables a considerar pueden ser, entre otras, si se trata de una aplicación para interiores o exteriores, que uso se le va a dar al espacio a iluminar, las condiciones ambientales que rodearan al espacio, la economía, el tiempo que se planea utilizar dicho sistema.

Cada sistema de iluminación estará compuesto de diversos elementos como son lámparas, luminarias, postes, mecanismos de maniobra, elementos eléctricos o electrónicos.

El diseño de sistemas de iluminación no se refiere solo a espacios nuevos, también implica corrección y/o adaptación de los ya existentes

El Ingeniero Mecánico Electricista debe tener el criterio suficiente para elegir y diseñar cada una las variables y elementos antes mencionados de modo tal que logre la obtención de sistemas cada vez más eficientes en, el menor tiempo posible y al más bajo costo.

Bibliografía.

Manual del alumbrado Westinghouse.
3ra. edición. Reimpresión 1979.
Editorial Dossat, S. A.

Manual de Luminotecnia Osram.
Ramón San Martín Páramo.
Osram.

Elementos de alumbrado.
Juan Ignacio Lima Velasco.
I.P.N. 1ra. Edición 1984.

Electrotecnologías 2. Técnicas y aplicaciones de la iluminación.
Luis C. Fernández Salazar, Jaime de Landa Amezcua.
Mc. Graw Hill. EVE Ente Vasco de la Energía.

Luminotecnia. Sus principios y aplicaciones.
R .G. Weigel
Editorial Gustavo Gili S. A.

Redes eléctricas. 1ra. parte
Jacinto Viqueira Landa
Representaciones y Servicios de Ingeniería S. A. 1986.

Física, Mecánica y Termodinámica.
Alonso/Rojo.
Fondo Educativo Interamericano.

Física, Campos y Ondas.
Alonso/Rojo.
Addison-Wesley Iberoamericana

Electricidad Básica. Volumen 1.
Van Valkenburgh, Nooger and Neville Inc.
Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V.

Física, Tomo II.
Raymond A. Serway.
Cuarta edición, Mc. Graw Hill.

Circuitos Eléctricos.
Joseph A. Edminister.
Serie Schaum, Editorial Mc. Graw Hill.

Física.
Gerthsen, Kneser, Vogel.
Editorial Dossat S. A.

Sistemas de Comunicaciones Electrónicas.
Wayne Tomasi.
Cuarta Edición. Pearson Educación.

Catálogos de lámparas

Catálogo general 2005/2006
Osram

Philips Lighting. Catálogo de especificaciones 2005-2006
Philips

Mesografía

www.cfe.gob.mx

www.lfc.gob.mx

www.holophane.com.mx

<http://es.wikipedia.org>

<http://www.energía.gob.mx>

Anexo de Luminotécnica

Tabla A

Porcentaje de reflectancia efectiva en la cavidad de piso o techo para diferentes combinaciones de reflectancia

% Reflectancia de techo o piso	90				80				70			50				30			10			
	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	70	50	30	70	50	30	10	50	30	10	
RSR																						
0.2	89	88	86	85	78	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	09	
0.4	88	86	84	81	77	76	74	72	67	65	63	48	47	45	30	29	28	26	11	10	09	
0.6	87	84	80	77	76	75	71	68	65	63	59	47	45	43	30	28	26	25	11	10	08	
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	44	40	30	28	25	23	11	10	08	
1.0	86	80	75	69	74	72	67	62	62	58	53	46	43	38	30	27	24	22	12	10	08	
1.2	85	78	72	66	73	70	64	58	61	57	50	45	41	36	30	27	23	21	12	10	07	
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	55	47	45	40	35	30	26	22	19	12	10	07	
1.6	84	75	67	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	29	25	22	18	12	09	07	
1.8	83	73	64	56	70	66	58	50	58	51	42	43	38	31	28	25	21	17	13	09	06	
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	49	40	43	37	30	29	24	20	16	13	09	06	
2.2	82	70	59	50	68	63	54	45	55	48	38	42	36	29	29	24	19	15	13	09	06	
2.4	82	69	58	48	67	61	52	43	54	46	37	42	35	27	29	24	19	14	13	09	06	
2.6	81	67	56	46	66	60	50	41	54	45	35	41	34	26	29	23	18	14	13	09	06	
2.8	81	66	54	44	65	59	48	39	53	43	33	41	33	25	29	23	17	13	13	09	05	
3.0	80	64	52	42	65	58	47	37	52	42	32	40	32	24	29	22	17	12	13	09	05	
3.2	79	63	50	40	65	57	45	35	51	40	31	39	31	23	29	22	16	12	13	09	05	
3.4	79	62	48	38	64	56	44	34	50	39	29	39	30	22	29	22	16	11	13	09	05	
3.6	78	61	47	36	63	54	43	32	49	38	28	39	29	21	29	21	15	10	13	09	04	
3.8	78	60	45	35	62	53	41	31	49	37	27	38	29	21	28	21	15	10	14	09	04	
4.0	77	58	44	33	61	53	40	30	48	36	26	38	28	20	28	21	14	09	14	09	04	
4.2	77	57	43	32	60	52	39	29	47	35	25	37	28	20	28	20	14	09	14	09	04	
4.4	76	56	42	31	60	51	38	28	46	34	24	37	27	19	28	20	14	09	14	08	04	
4.6	76	55	40	30	59	50	37	27	45	33	24	38	26	18	28	20	13	08	14	08	04	
4.8	75	54	39	28	58	49	36	26	45	32	23	36	26	18	28	20	13	08	14	08	04	
5.0	75	53	38	28	58	48	35	25	44	31	22	35	25	17	28	19	13	08	14	08	04	

Tabla B Factores de multiplicación para reflectancia de cavidad de piso diferente al 20 por ciento

% de reflectancia efectiva en la cavidad de techo, pcc	80				70				50			30			10		
	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Para 30 % de reflectancia efectiva en la cavidad de piso (20 % = 1.00)																	
RCR																	
1	1.092	1.082	1.075	1.068	1.077	1.070	1.064	1.059	1.049	1.044	1.040	1.028	1.026	1.023	1.012	1.010	1.008
2	1.079	1.066	1.055	1.047	1.068	1.057	1.048	1.039	1.041	1.033	1.027	1.026	1.021	1.017	1.013	1.010	1.006
3	1.070	1.054	1.042	1.033	1.061	1.048	1.037	1.028	1.034	1.027	1.020	1.024	1.017	1.012	1.014	1.009	1.005
4	1.062	1.045	1.033	1.024	1.055	1.040	1.029	1.021	1.030	1.022	1.015	1.022	1.015	1.010	1.014	1.009	1.004
5	1.056	1.038	1.026	1.018	1.050	1.034	1.024	1.015	1.027	1.018	1.012	1.020	1.013	1.008	1.014	1.009	1.004
6	1.052	1.033	1.021	1.014	1.047	1.030	1.020	1.012	1.024	1.015	1.009	1.019	1.012	1.006	1.014	1.008	1.003
7	1.047	1.029	1.018	1.011	1.043	1.026	1.017	1.009	1.022	1.013	1.007	1.018	1.010	1.005	1.014	1.008	1.003
8	1.044	1.026	1.015	1.009	1.040	1.024	1.015	1.007	1.020	1.012	1.006	1.017	1.009	1.004	1.013	1.007	1.003
9	1.040	1.024	1.014	1.007	1.037	1.022	1.014	1.006	1.019	1.011	1.005	1.016	1.009	1.004	1.013	1.007	1.002
10	1.037	1.022	1.012	1.006	1.034	1.020	1.012	1.005	1.017	1.010	1.004	1.015	1.009	1.003	1.013	1.007	1.002
Para 10 % de reflectancia efectiva en la cavidad de piso (20 % = 1.00)																	
RCR																	
1	0.923	0.929	0.935	0.940	0.933	0.939	0.943	0.948	0.956	0.960	0.963	0.973	0.976	0.979	0.989	0.991	0.993
2	0.931	0.942	0.950	0.958	0.940	0.949	0.957	0.963	0.962	0.968	0.974	0.976	0.980	0.985	0.988	0.991	0.995
3	0.939	0.951	0.961	0.969	0.945	0.957	0.966	0.973	0.967	0.975	0.981	0.978	0.983	0.988	0.988	0.992	0.996
4	0.944	0.958	0.969	0.978	0.950	0.963	0.973	0.980	0.972	0.980	0.986	0.980	0.986	0.991	0.987	0.992	0.996
5	0.949	0.964	0.976	0.983	0.954	0.968	0.978	0.985	0.975	0.983	0.989	0.981	0.988	0.993	0.987	0.992	0.997
6	0.953	0.969	0.980	0.986	0.958	0.972	0.982	0.989	0.977	0.985	0.992	0.982	0.989	0.995	0.987	0.993	0.997
7	0.957	0.973	0.983	0.991	0.961	0.975	0.985	0.991	0.979	0.987	0.994	0.983	0.990	0.996	0.987	0.993	0.998
8	0.960	0.976	0.986	0.993	0.963	0.977	0.987	0.993	0.981	0.988	0.995	0.984	0.991	0.997	0.987	0.994	0.998
9	0.963	0.978	0.987	0.994	0.965	0.979	0.989	0.994	0.983	0.990	0.996	0.985	0.992	0.998	0.988	0.994	0.999
10	0.965	0.980	0.985	0.990	0.967	0.981	0.990	0.995	0.984	0.991	0.997	0.986	0.993	0.998	0.988	0.994	0.999

FLUORESCENTE

HOLOPHANE

Atlanta™



Características

Cuerpo: Lámina de aluminio rechazado. Fabricado con un tratamiento previo y pintura poliéster en polvo aplicada electrostáticamente y horneada, para una mayor resistencia a la corrosión.

Balastro: Electrónico de encendido rápido, bajo consumo de energía y alto factor de potencia. Con rango de operación de 127 a 277V.

Óptica: Controlente de resina acrílica con reflector anodizado de alta reflectancia.

Instalación: Fácil cableado, retirando el controlente y utilizando la tablilla de conexiones.

Certificación: NOM - 064 - SCFI.

Aplicaciones:
Estacionamientos cubiertos, pasillos, áreas de carga, recepciones, áreas de producción o proceso.

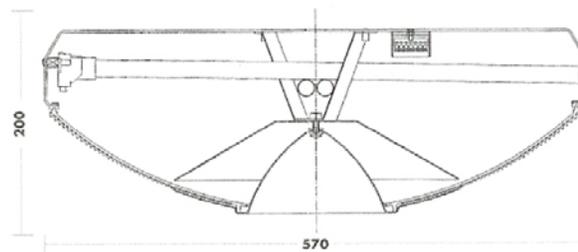
Luminario de estilo contemporáneo con controlente refractivo prismático

Cómo armar el número de catálogo de Atlanta:

Ejemplo: ATL 255 MA TC S
 1 2 3 4 5

Paso	Núm. Catálogo	Descripción
1. Luminario	ATL	Atlanta
2. Lámpara	255	2 Lámparas fluorescentes compactas de 55W T-5 ¹
3. Tensión de operación	MA	127V a 277V 60Hz
4. Montaje	TC DT E	Montaje a tubo conduit de 3/4" Ø NPT Montaje para semiempotrar a plafón reticular Montaje de sobreponer a techo
5. Opciones	L S	Lámpara (incluida) Tornillo de seguridad con llave

Notas: 1 Base 2G11 de 4 pines



Dimensiones en mm.

Photometric Report

CATALOG NUMBER: ATL2556T

FILENAME: C99279AMEX.IES

IESNA95

[TEST] C99279AMEX.IES

[MANUFAC] HOLOPHANE MEXICO

[LUMCAT] ATL2556T

[LUMINAIRE] ATLANTA

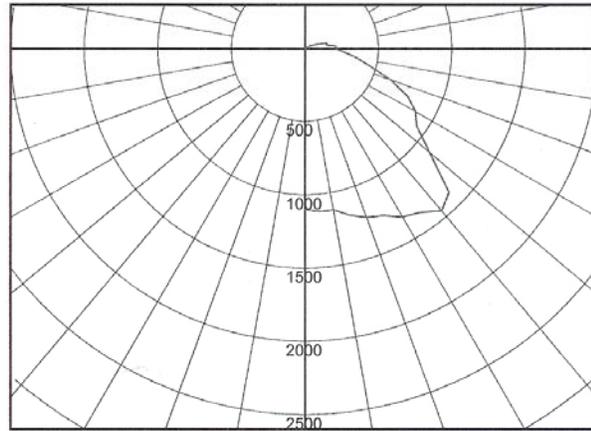
[LAMP] 2 LAMPARAS FLUORESCENTES COMPACTAS DE 55W PL-L

[BALLAST] BALASTRO ELECTRONICO

SUMMARY DATA

EFFICIENCY (Total): 60.1 %
 EFFICIENCY (Downlight): 55.7 %
 EFFICIENCY (Uplight): 4.4 %
 CIE CLASSIFICATION: DIRECT
 SPACING CRITERION (0-Deg.): 1.74
 LUMENS/LAMP: 4800
 NO. OF LAMPS: 2
 LUMINOUS OPENING: CIRCULAR
 Diameter: 0.57 (Meters)
 INPUT WATTS: 110
 RP-1-93 VDT CONFORMANCE: NON-CONFORMING

CANDELA PLOT



Axially Symmetric

ZONAL LUMEN SUMMARY

Zone	Lumens	% Lamp	% Luminaire
0 - 30	1031.9	10.7	17.9
0 - 40	1900.6	19.8	32.9
0 - 60	3789.0	39.5	65.7
60 - 90	1553.9	16.2	26.9
0 - 90	5342.9	55.7	92.6
90 - 180	426.8	4.4	7.4
0 - 180	5769.6	60.1	100.0

AVERAGE LUMINANCE

(Candelas / Square Meter)

Angle	0
0	4311
45	5325
55	3879
65	3647
75	2611
85	1988

COEFFICIENT OF UTILIZATION TABLE

Effective Floor cavity Reflectance = 20%

Pcc ...	80				70				50				30				10				0	
	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
Pw ...	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10	0	
RCR																						
0	.70	.70	.70	.70	.68	.68	.68	.68	.64	.64	.64	.61	.61	.61	.57	.57	.57	.56				
1	.63	.60	.57	.54	.61	.58	.55	.53	.54	.52	.50	.51	.50	.48	.48	.47	.46	.44				
2	.57	.51	.47	.43	.55	.50	.45	.42	.47	.43	.40	.44	.41	.39	.42	.39	.37	.35				
3	.51	.44	.39	.35	.49	.43	.38	.34	.41	.36	.33	.38	.35	.32	.36	.33	.31	.29				
4	.47	.39	.33	.29	.45	.38	.32	.28	.36	.31	.27	.34	.30	.27	.32	.29	.26	.24				
5	.43	.34	.29	.24	.41	.33	.28	.24	.32	.27	.23	.30	.26	.23	.28	.25	.22	.21				
6	.39	.31	.25	.21	.38	.30	.24	.21	.28	.24	.20	.27	.23	.20	.25	.22	.19	.18				
7	.36	.28	.22	.18	.35	.27	.22	.18	.26	.21	.17	.24	.20	.17	.23	.19	.17	.15				
8	.33	.25	.20	.16	.32	.24	.19	.16	.23	.19	.15	.22	.18	.15	.21	.17	.15	.13				
9	.31	.23	.18	.14	.30	.22	.17	.14	.21	.17	.14	.20	.16	.13	.19	.16	.13	.12				
10	.29	.21	.16	.13	.28	.20	.16	.12	.19	.15	.12	.19	.15	.12	.18	.14	.12	.11				

Lunes, 27 de Marzo de 2006

Photometric Viewer



Photometric Report

CATALOG NUMBER: ATL2556T

FILENAME: C99279AMEX.IES

CANDELA TABLE

Vertical Angle	Horizontal Angles
0	1100
5	1120
10	1120
15	1180
20	1230
25	1260
30	1330
35	1370
40	1450
45	1390
50	1110
55	930
60	870
65	770
70	620
75	460
80	360
85	270
90	210
95	210
100	150
105	150
110	90
115	50
120	30
125	10
130	10
135	0
140	0
145	0
150	0
155	0
160	0
165	0
170	0
175	0
180	0