



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**“LA LUMINOTÉCNIA Y LAS CELDAS  
FOTOVOLTAICAS COMO HERRAMIENTA EN EL  
AHORRO ENERGÉTICO DE ILUMINACIÓN”**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
ÁREA: INGENIERÍA ELÉCTRICA  
ELECTRÓNICA**

**PRESENTA:  
RUBI PONCE LIMAS**

**ASESOR:  
ING. FRANCISCO RAÚL ORTIZ GONZÁLEZ**



**SAN JUAN DE ARAGÓN, EDO. DE MÉXICO, 2013.**

---



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

A mis padres por su esfuerzo, a mi hermana por su motivación, a mis amigos por su comprensión y en especial al Ing. Francisco Raúl Ortiz González por su paciencia... no hay destino nosotros lo hacemos...

---

Descripción	Pág.
Objetivo	I
Introducción	II
Capítulo 1 EL SER HUMANO	1
1.1 El origen del fuego	1
1.2 La rueda	2
1.3 Tornillo de Arquímedes	3
1.4 El reloj	3
1.5 El microscopio	4
1.6 El pararrayos	5
1.7 La máquina de vapor	6
1.8 Generación de electricidad convencional	8
1.8.1 Planta termoeléctrica	10
1.8.2 Planta hidroeléctrica	12
1.8.3 Planta geotérmica	13
1.8.4 Planta nuclear	14
1.9 Generación de electricidad alterna	16
1.9.1 Energía eólica	19
1.9.2 Energía biomasa	20
1.9.3 Energía mareomotriz	21
1.9.4 Energía solar	23
1.9.4.1 Historia de la celda fotovoltaica	27
Capítulo 2 LA LUMINOTECNIA	32

2.1 Historia de la iluminación arquitectónica	32
2.2 Iluminación artificial	35
2.3 Ciencias naturales e iluminación	36
2.4 Fuentes de luz modernas	40
2.4.1 Fuentes eléctricas de luz	40
2.5 Planificación de iluminación cuantitativa	46
2.6 Principios de una nueva planificación de iluminación	48
2.6.1 Planificación de iluminación cualitativa	51
2.6.2 Luminotecnia y planificación de iluminación	53
Capítulo 3 TECNOLOGÍA MODERNA	58
3.1 Unidades de iluminación	58
3.1.1 Flujo luminoso	58
3.1.2 Eficacia luminosa	59
3.1.3 Cantidad de luz	59
3.1.4 Intensidad luminosa	60
3.1.5 Iluminancia	61
3.1.6 Exposición luminosa	62
3.1.7 Luminancia	62
3.2 Fisiología del ojo	63
3.3 Percepción	68
3.4 Objetos de percepción	69
3.5 Luz y fuentes de luz	73
3.5.1 Lámparas incandescentes	76

3.5.1.1 Lámparas halógenas incandescentes	80
3.5.2 Lámparas de descarga	83
3.5.2.1 Lámparas fluorescentes	88
3.5.2.2 Lámparas fluorescentes compactas	90
3.6 Lámparas LED's	92
3.6.1 Características	94
3.6.2 Generalidades	95
3.6.3 Tipos de LED's	95
3.6.4 Propiedades de los LED's	97
3.6.5 Proyección y reflexión	98
3.6.6 Gestión térmica	98
3.6.7 Eficacia luminosa y duración	99
3.6.8 Reproducción cromática	99
3.6.9 Flujo luminoso	100
3.6.10 Color de luz	100
Capítulo 4 PROYECTO DE ILUMINACIÓN	101
4.1 Antecedentes	101
4.2 Proyecto	104
4.3 Desarrollo del proyecto	105
4.4 Costos	115
4.5 Tiempo de realización	116
Conclusiones	118
Bibliografía	119

El presente trabajo tiene la finalidad de utilizar una de las tecnologías modernas en el ámbito eléctrico referente al consumo energético al utilizar celdas fotovoltaicas. Con el fin de beneficiar a las instalaciones eléctricas existentes como de proyecto; y el de utilizar componentes más vanguardistas, novedosos y funcionales en el rubro de iluminación.

Actualmente las plantas generadoras de electricidad se basan de los recursos naturales como es el petróleo para generar electricidad de tipo comercial tanto para industrias así como para vivienda.

En la actualidad existen alternativas en lo referente al ahorro energético como son, los sistemas eólicos, mareomotrices, biomasa y la captación de rayos solares.

A continuación se describirán los aspectos principales en los que se encuentran comprendidos los capítulos de este trabajo.

El primer capítulo menciona al ser humano y los diferentes descubrimientos a través de la historia los cuales, hoy en día son muy comunes en la vida diaria uno de ellos, la electricidad.

El segundo presenta la historia de la luminotecnia y su evolución con los años, también la mejora de los equipos desarrollados en ciertas épocas y los aparatos que siguen vigentes hoy en día.

El tercero menciona la tecnología moderna ocupada en la luminotecnia y sus unidades, así como los aspectos fisiológicos de las personas con respecto a la luz y fuentes de luz.

El cuarto documenta el estudio realizado a un mercado, en el cual se implementan las mejoras para una infraestructura tanto en lo eléctrico como en la luminotecnia y la utilización de celdas fotovoltaicas para el ahorro energético.

## 1.1 El origen del fuego

Los restos arqueológicos mas antiguos al respecto indican que la especie humana Homo Erectus, antepasado del Homo Sapiens actual, conocía el uso del fuego hace 1'600,000 años.

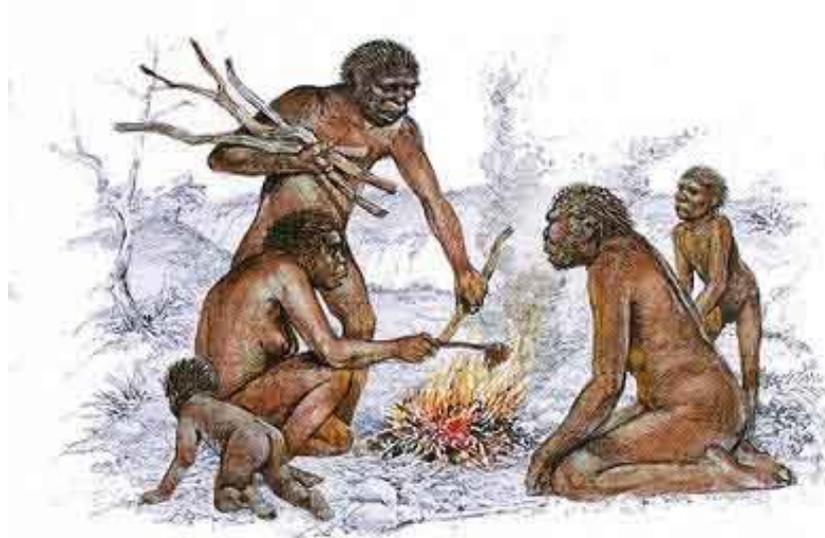


Figura 1.1 El hombre primitivo y el fuego.

El Homo Erectus no tenía la capacidad del lenguaje (habla), sin embargo el uso del fuego habría permitido una sociabilización antes ausente, es fácil imaginar una tribu de esta especie humana rodeando una fogata a fin de mantener la seguridad del grupo, defenderse de los ataques de animales, protegerse del frio, etc.

En sus comienzos, el mayor problema era cuidar ese fuego que llevaban a las aldeas y mantenerlo encendido. Todavía no sabían encenderlo ni alimentarlo con combustibles. Se sabe que hace un millón de años el fuego servía para defenderse, para cocinar o para alumbrar los refugios de piedra (cuevas).

Cuando entraban en posesión del fuego era probable que nuevamente lo perdieran. Y había que esperar que otra vez la naturaleza les brindara la oportunidad de volver a conseguirlo.

## 1.2 La rueda



Figura 1.2 Rueda tallada en piedra.

Para los estudiosos en la materia, es prácticamente imposible, señalar quién inventó la rueda (se considera que esta consiste en algún elemento circular que gira en torno a un eje). Ya que esta se inventó, varios siglos antes del nacimiento de Cristo. Es como el desarrollo del fuego; nadie sabe quien fue la primera persona, que pudo controlar la combustión.

La rueda más antigua encontrada hasta el día de hoy, es la que se halló en Eslovenia, en el 2002, por el Dr. Antón Veluscek. Tendría que haber sido manufacturada unos tres mil años, antes del nacimiento de Cristo.

Pero en la búsqueda para determinar quién inventó la rueda, los historiadores, señalan que esta tuvo que haber sido desarrollada, cinco milenios antes de Cristo, en la región de Mesopotamia. Rueda que era utilizada, para el trabajo con arcilla o greda, en la construcción de elementos decorativos o utilización hogareña.

Claro está, que muchas investigaciones, manifiestan que la rueda apareció de manera casi simultánea, en Europa. De igual manera, los vestigios de la rueda en la India, datan del tercer milenio antes de Cristo. Además, dos milenios antes del nacimiento de Cristo, los chinos habían dado uso a la rueda, para darle movilidad a sus carros de guerra.

Culturas occidentales, principalmente los Olmecas, desarrollaron la rueda principalmente por medio de piedras. Estas en sí, no tenían la perfección de sus pares orientales, pero de todas maneras eran de gran utilidad.

### 1.3 Tornillo de Arquímedes

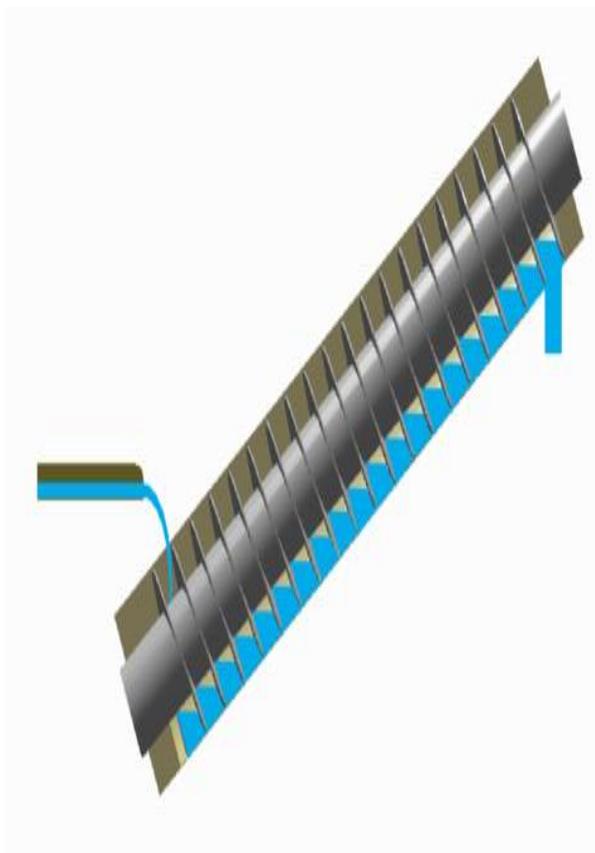


Figura 1.3 Tornillo de Arquímedes

El tornillo de Arquímedes es una máquina utilizada para elevación de agua, harina o cereales. Fue supuestamente inventado en el siglo III a. de C. Por Arquímedes, del que recibe su nombre, aunque existen hipótesis de que ya era utilizado en Egipto. Se basa en un tornillo que se hace girar dentro de un cilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, y que permite elevar el agua situada por debajo del eje de giro. Desde su invención hasta ahora se ha utilizado para el bombeado de fluidos. También es llamado Tornillo Sin fin por su circuito en infinito.

### 1.4 El reloj

Los antiguos conocieron varias especies de relojes. Vitrubio habla del reloj de agua o clepsidra, el de aire, el de sol y de otras especies que nos son desconocidas.

Los egipcios medían con la clepsidra los movimientos del Sol. De igual medio se valía el ilustre astrónomo para sus observaciones.

Las clepsidras y los relojes de Sol fueron inventados en Egipto en tiempos de los Ptolomeos; las clepsidras fueron después perfeccionadas por Escipión Nasica o según otros por Ctesibio (discípulo de los oradores romanos medían con ellas la duración de sus discursos.)

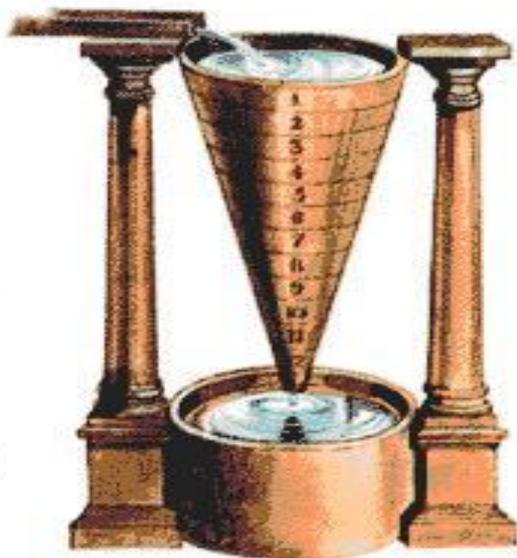


Figura 1.4 Reloj de agua o clepsidra.

Se cree que los grandes relojes de pesas y ruedas fueron inventados en Occidente por el monje benedictino Gerberto (Papa, con el nombre de Silvestre II, hacia finales del siglo X) aunque ya con alguna anterioridad se conocían en el Imperio bizantino. Según otras fuentes, el primer reloj de que habla la historia construido sobre principios de mecánica es el de Richard Wasigford, abad de San Albano, que vivió en Inglaterra hacia 1326, pues al parecer la invención de Gerberto (después Silvestre II) no era más que un reloj de sol.

### 1.5 El Microscopio

El microscopio (de micro-, pequeño, y scopio, σκοπεω, observar) es un instrumento que permite observar objetos que son demasiado pequeños para ser vistos a simple vista. El tipo más común y el primero que se inventó es el microscopio óptico. Se trata de un instrumento óptico que contiene dos o más lentes que permiten obtener una imagen aumentada del objeto y que funciona por refracción. La ciencia que investiga los objetos pequeños utilizando este instrumento se llama microscopía.

Este aparato fue inventado por Zacharias Janssen en 1590. En 1665, aparece en la obra de William Harvey sobre la circulación sanguínea al mirar al microscopio los capilares sanguíneos y Robert Hooke publica su obra *Micrographia*.

En 1665, Robert Hooke observó con un microscopio un delgado corte de corcho y notó que el material era poroso, en su conjunto, formaban cavidades poco profundas a modo de celditas a las que llamó células. Se trataba de la primera

observación de células muertas. Unos años más tarde, Marcello Malpighi, anatomista y biólogo italiano, observó células vivas. Fue el primero en estudiar tejidos vivos al microscopio.



A mediados del siglo XVII, un holandés, Antón van Leeuwenhoek, utilizando microscopios simples de fabricación propia, describió por primera vez protozoos, bacterias, espermatozoides y glóbulos rojos. El microscopista Leeuwenhoek, sin ninguna preparación científica, puede considerarse el fundador de la bacteriología.

Figura 1.5 El microscopio simple.

## 1.6 El Pararrayos

Un pararrayos es un instrumento cuyo objetivo es atraer un rayo ionizando el aire para excitar, llamar y conducir la descarga hacia tierra, de tal modo que no cause daños a las personas o construcciones. Fue inventado en 1753, por Benjamín Franklin. El primer modelo se conoce como pararrayos Franklin, en homenaje a su inventor.

En 1747, Benjamín Franklin inició sus experimentos sobre la electricidad; defendió la hipótesis de que las tormentas son un fenómeno eléctrico y propuso un método efectivo para demostrarlo. En 1749, inventó el pararrayos en las Américas y quizás, independientemente, también fue inventado por Prokop Diviš en Europa en 1754.

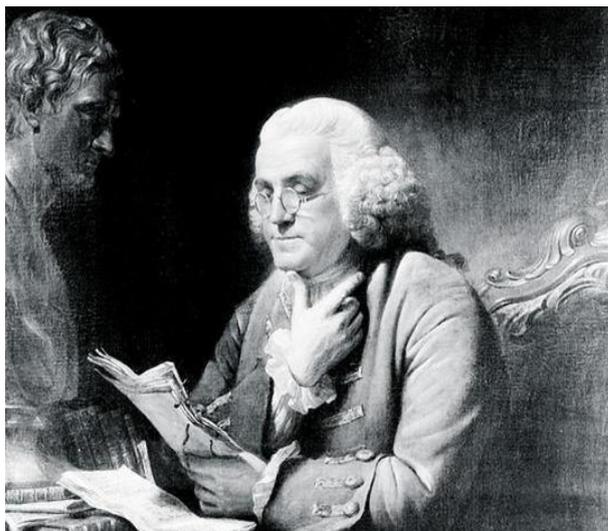


Figura 1.6 Benjamín Franklin.

En 1752, Franklin publicó en Londres, en su famoso almanaque (Poor Richard's Almanack), una aplicación donde propuso la idea de utilizar varillas de acero en punta, sobre los tejados, para protegerse de la caída de los rayos. Su teoría se ensayó en Inglaterra y Francia antes incluso de que él mismo ejecutara su famoso experimento con una cometa en 1752.

### 1.7 La máquina de vapor

En la máquina de vapor se basa la Primera Revolución Industrial que, desde finales del siglo XVIII, en Inglaterra y hasta casi mediados del siglo XIX, aceleró portentosamente el desarrollo económico de muchos de los principales países de la Europa Occidental y de los Estados Unidos de América. Solo en la interface que medió entre 1890 y 1930, la máquina a vapor impulsada por hulla dejó lugar a otros motores de combustión interna: aquellos impulsados por hidrocarburos derivados del petróleo.

Muchos han sido los autores que han intentado determinar la fecha de la invención de la máquina de vapor atribuyéndola a tal o cual inventor; intento que había sido en vano, ya que la historia de su desarrollo estaba plagada de nombres propios. Desde la recopilación de Herón hasta la sofisticada máquina de James Watt, son multitud las mejoras que en Inglaterra y especialmente en el contexto de una incipiente Revolución Industrial en los siglos XVII y XVIII.

Condujeron sin solución de continuidad desde los rudimentarios primeros aparatos sin aplicación práctica a la invención del motor universal que llegó a implantarse en todas las industrias y a utilizarse en el transporte, desplazando los tradicionales motores, como el animal de tiro, el molino o la propia fuerza del

hombre. Jerónimo de Ayanz y Beaumont, militar, pintor, cosmógrafo y músico, pero, sobre todo, inventor español registró en 1606, la primera patente de una máquina de vapor moderna, por lo que se le puede atribuir la invención de la máquina de vapor.

El hecho de que el conocimiento de esta patente sea bastante reciente hace que este dato lo desconozca la gran mayoría de la gente.

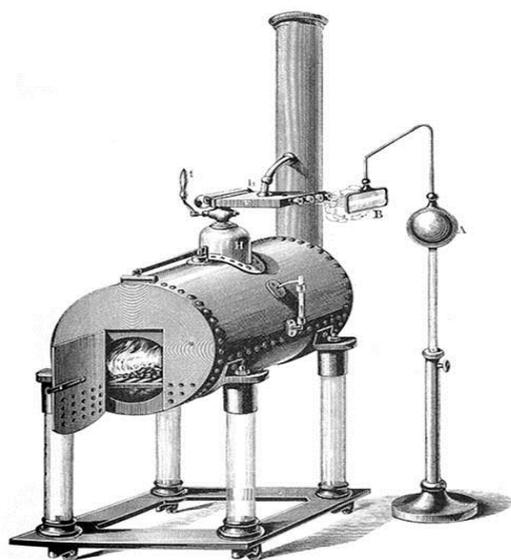


Figura 1.7 Máquina de vapor.

Auspiciado por Joseph Black, ocupado en las investigaciones que le conducirían al descubrimiento del calor latente, James Watt se propuso mejorar la máquina de Newcomen, descubriendo en el curso de sus experimentos que el vapor era una reserva de calor mucho más vasta que el agua y comprendiendo que era necesario limitar todas las pérdidas de calor que se producían en la artesanal máquina de Newcomen para disminuir el consumo de combustible, principal inconveniente de estas máquinas.

Analizando el problema identificó las pérdidas debidas al propio cilindro, a la práctica de enfriar el vapor para lograr el vacío necesario para mover la máquina y a la presión residual del vapor.

Según sus palabras, mientras daba un paseo un espléndido sábado por la tarde y meditaba sobre la máquina, una idea le vino a la cabeza: como el vapor es un cuerpo elástico se precipitará en el vacío, y, si se comunicara el cilindro con un depósito exhausto, se precipitaría en su interior donde podría condensarse sin enfriar el cilindro.

## 1.8 Generación de electricidad convencional

En general, la generación de energía eléctrica consiste en transformar alguna clase de energía química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica. Para la generación industrial se recurre a instalaciones denominadas centrales eléctricas, que ejecutan alguna de las transformaciones citadas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico.

La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan. Explicado de otro modo, difiere en qué fuente de energía primaria utiliza para convertir la energía contenida en ella, en energía eléctrica.



Desde que Nikola Tesla descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo el planeta.

Figura 1.8 Alternador eléctrico industrial.

Así, los países industrializados o del Primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado Tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

## CONSUMO MEDIO DE ENERGIA EN UN HOGAR

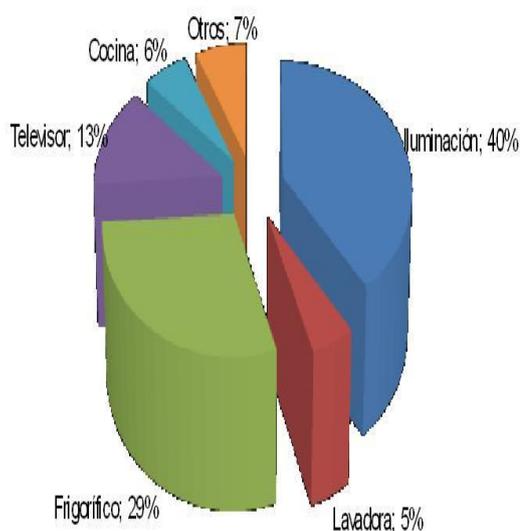


Figura 1.9 Porcentaje de consumo en un hogar.

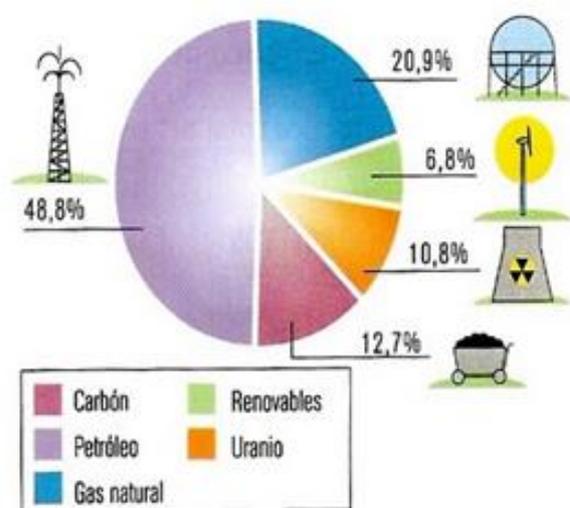
La demanda de energía eléctrica de una ciudad, región o país tiene una variación a lo largo del día. Esta variación es función de muchos factores, entre los que destacan: tipos de industrias existentes en la zona y turnos que realizan en su producción, climatología extremas de frío o calor, tipo de electrodomésticos que se utilizan más frecuentemente, tipo de calentador de agua que haya instalado en los hogares, la estación del año y la hora del día en que se considera la demanda.

La generación de energía eléctrica debe seguir la curva de demanda y, a medida que aumenta la potencia demandada, se debe incrementar la potencia suministrada. Esto conlleva el tener que iniciar la generación con unidades adicionales, ubicadas en la misma central o en centrales reservadas para estos períodos.

En general los sistemas de generación se diferencian por el periodo del ciclo en el que está planificado que sean utilizados; se consideran de base la nuclear y la eólica, de valle la termoeléctrica de combustibles fósiles, y de pico la hidroeléctrica principalmente (los combustibles fósiles y la hidroeléctrica también pueden usarse como base si es necesario).

Dependiendo de la fuente primaria de energía utilizada, las centrales generadoras se clasifican en químicas cuando se utilizan plantas de radioactividad, que generan energía eléctrica con el contacto de esta, termoeléctricas (de carbón, petróleo, gas, nucleares y solares termoeléctricas), hidroeléctricas (aprovechando las corrientes de los ríos o del mar: mareomotrices), eólicas y solares fotovoltaicas.

La mayor parte de la energía eléctrica generada a nivel mundial proviene de los dos primeros tipos de centrales reseñados. Todas estas centrales, excepto las fotovoltaicas, tienen en común el elemento generador, constituido por un alternador de corriente, movido mediante una turbina que será distinta dependiendo del tipo de energía primaria utilizada.



Por otro lado, un 64% de los directivos de las principales empresas eléctricas consideran que en el horizonte de 2018, existirán tecnologías limpias, asequibles y renovables de generación local, lo que obligará a las grandes corporaciones del sector a un cambio de mentalidad.

Figura 1.10 Consumos de energía primaria.

### 1.8.1 Planta termoeléctrica

Una central termoeléctrica es un lugar empleado para la generación de energía eléctrica a partir de calor. Este calor puede obtenerse tanto de combustibles fósiles (petróleo, gas natural o carbón) como de la fisión nuclear del uranio u otro combustible nuclear o del sol como las, así como también de incineración de residuos sólidos urbanos(RSU). Las centrales que en el futuro utilicen la fusión también serán plantas termoeléctricas.

En su forma más clásica, las centrales termoeléctricas consisten en una caldera en la que se quema el combustible para generar calor que se transfiere a unos tubos por donde circula agua, la cual se evapora. El vapor obtenido, a alta presión y temperatura, se expande a continuación en una turbina de vapor, cuyo movimiento impulsa un alternador que genera la electricidad.

Luego el vapor es enfriado en un Condensador donde circula por tubos agua fría de un caudal abierto de un río o por torre de refrigeración.

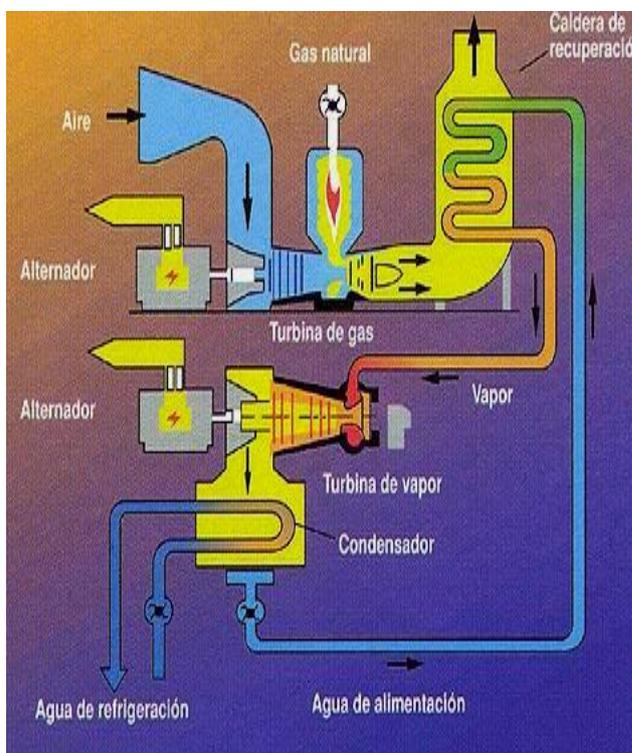


Figura 1.11 Planta termoeléctrica de ciclo combinado.

En las centrales termoeléctricas denominadas de ciclo combinado se usan los gases de la combustión del gas natural para mover una turbina de gas. En una cámara de combustión se quema el gas natural y se inyecta aire para acelerar la velocidad de los gases y mover la turbina de gas. Como, tras pasar por la turbina, esos gases todavía se encuentran a alta temperatura (500 °C), se reutilizan para generar vapor que mueve una turbina de vapor. Cada una de estas turbinas impulsa un alternador, como en una central termoeléctrica común.

El vapor luego es enfriado por medio de un caudal de agua abierto o torre de refrigeración como en una central térmica común. Además, se puede obtener la cogeneración en este tipo de plantas, al alternar entre la generación por medio de gas natural o carbón.

Este tipo de plantas está en capacidad de producir energía más allá de la limitación de uno de los dos insumos y pueden dar un paso a la utilización de fuentes de energía por insumos diferentes.

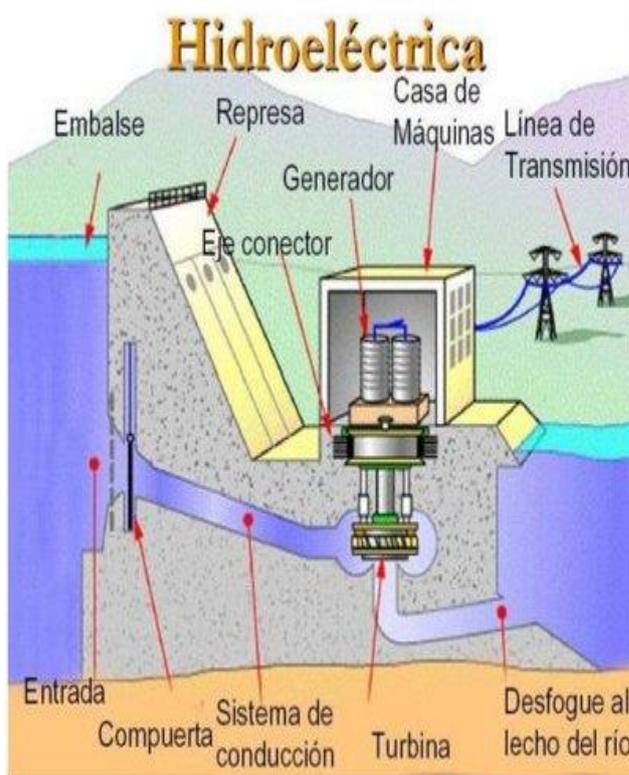
Las centrales térmicas que usan combustibles fósiles liberan a la atmósfera dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), considerado el principal gas responsable del calentamiento global.

También, dependiendo del combustible utilizado, pueden emitir otros contaminantes como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas sólidas (polvo)

y cantidades variables de residuos sólidos. Las centrales nucleares pueden contaminar en situaciones accidentales y también generan residuos radiactivos de diversa índole.

### 1.8.2 Planta hidroeléctrica

Una central hidroeléctrica es aquella que se utiliza para la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía potencial del agua embalsada en una presa situada a más alto nivel que la central. El agua se lleva por una tubería de descarga a la sala de máquinas de la central, donde mediante enormes turbinas hidráulicas se produce la electricidad en alternadores. Las dos características principales de una central hidroeléctrica, desde el punto de vista de su capacidad de generación de electricidad son:



La potencia, que es función del desnivel existente entre el nivel medio del embalse y el nivel medio de las aguas debajo de la central, y del caudal máximo turbinado, además de las características de la turbina y del generador.

La energía garantizada en un lapso determinado, generalmente un año, que está en función del volumen útil del embalse, de la pluviometría anual y de la potencia instalada.

Figura 1.12 Esquema de planta hidroeléctrica.

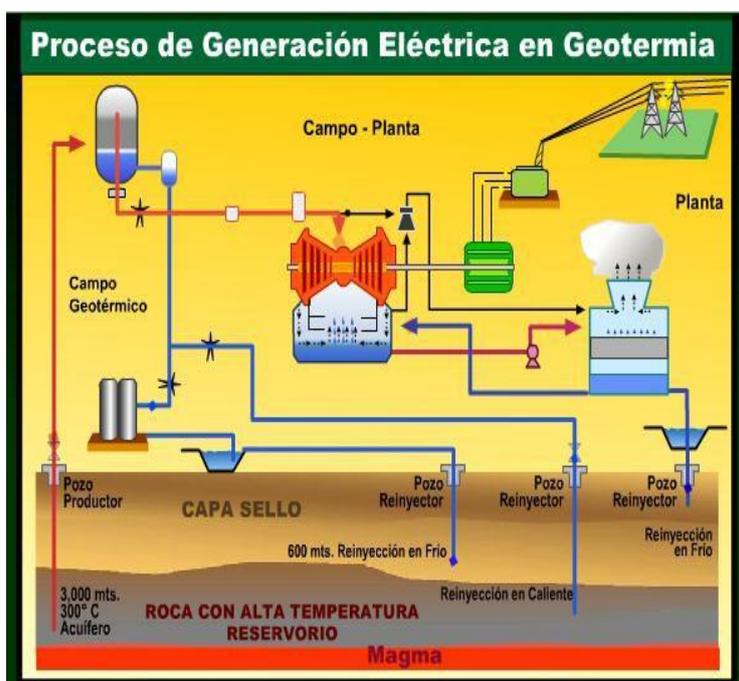
La potencia de una central hidroeléctrica puede variar desde unos pocos mega watts, hasta varios giga watts. Hasta 10 mega watts se consideran mini

centrales. En China se encuentra la mayor central hidroeléctrica del mundo (la Presa de las Tres Gargantas), con una potencia instalada de 22,500 mega watts. La segunda es la Represa de Itaipú (que pertenece a Brasil y Paraguay), con una potencia instalada de 14,000 mega watts en 20 turbinas de 700 mega watts cada una.

Esta forma de energía posee problemas medioambientales al necesitar la construcción de grandes embalses en los que acumular el agua, que es sustraída de otros usos, incluso urbanos en algunas ocasiones.

### 1.8.3 Planta geotérmica

Una de las fuentes de energía renovables menos conocidas y una alternativa más ante el agotamiento de los combustibles fósiles es la energía geotérmica. Se encuentra almacenada bajo la superficie terrestre en forma de calor y ligada a volcanes, aguas termales, fumarolas o géiseres.



Para su aprovechamiento eléctrico es necesaria la presencia de yacimientos de agua (filtrada a través de las fisuras de la corteza terrestre) que ha quedado atrapada a profundidades de entre 200 y 3000 metros, y cuya temperatura llega a superar los 350°C, aunque también puede utilizarse con menores temperaturas.

Figura 1.13 Planta geotérmica.

Las centrales geotérmicas tienen una potencia que supera los 9,000 mega watts. El agua geotérmica o el calor se utilizan directamente en muchas partes del

planeta, sin ser convertidas en electricidad, por ejemplo en balnearios, calefacciones o invernaderos, para reducir el tiempo de crecimiento de crustáceos o pescados y en usos sanitarios o industriales (pasteurización de la leche).

Entre las ventajas de este tipo de energía destaca que su flujo de producción es constante a lo largo del año, no depende de variaciones estacionales, (días nublados, caudal hidrológico), lo que la convierte en un complemento de las plantas hidroeléctricas y en una alternativa al vapor producido en centrales energéticas mediante fisión o quema de combustibles fósiles.

Además, los residuos producidos son mínimos y provocan menos impacto ambiental que otras formas de generar energía.

#### 1.8.4 Planta nuclear

El principal uso que se le da actualmente a la energía nuclear es el de la generación de energía eléctrica. Las centrales nucleares son las instalaciones encargadas de este proceso.

Prácticamente todas las centrales nucleares en producción utilizan la fisión nuclear ya que la fusión nuclear actualmente es inviable a pesar de estar en proceso de desarrollo.

El funcionamiento de una central nuclear es idéntico al de una central térmica que funcione con carbón, petróleo o gas excepto en la forma de proporcionar calor al agua para convertirla en vapor. En el caso de los reactores nucleares este calor se obtiene mediante las reacciones de fisión de los átomos del combustible.

A nivel mundial el 90% de los reactores de potencia, es decir, los reactores destinados a la producción de energía eléctrica son reactores de agua ligera (en las versiones de agua a presión o de agua en ebullición). De modo que explicaremos más extensamente el funcionamiento de este tipo de reactor.

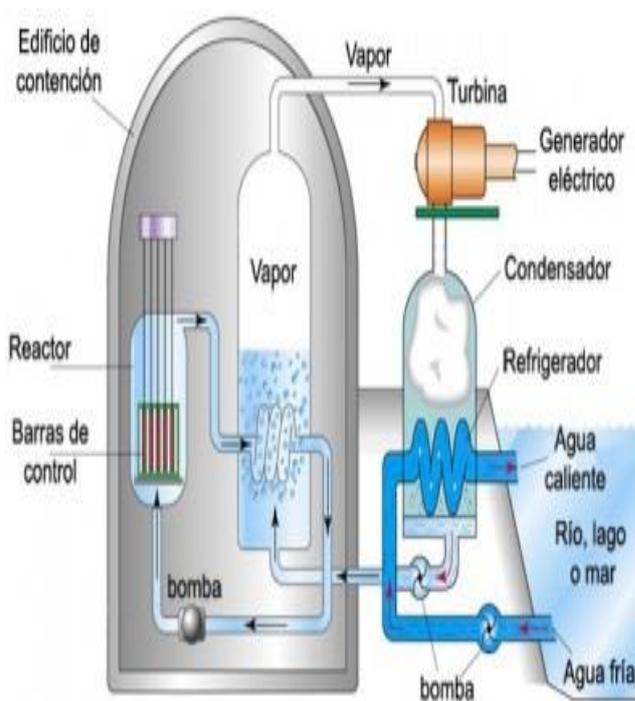


Figura 1.14 Funcionamiento de central nuclear.

El principio básico del funcionamiento de una central nuclear se basa en la obtención de energía calorífica mediante la fisión nuclear del núcleo de los átomos del combustible. Con esta energía calorífica, que tenemos en forma de vapor de agua, la convertiremos en energía mecánica en una turbina y, finalmente, convertiremos la energía mecánica en energía eléctrica mediante un generador.

El reactor nuclear es el encargado de provocar y controlar estas fisiones atómicas que generarán una gran cantidad de calor. Con este calor se calienta agua para convertirla en vapor a alta presión y temperatura.

El agua transformada en vapor sale del edificio de contención debido a la alta presión a que está sometido hasta llegar a la turbina y hacerla girar. En este momento parte de la energía calorífica del vapor se transforma en energía cinética. Esta turbina está conectada a un generador eléctrico mediante el cual se transformará la energía cinética en energía eléctrica.

Por otra parte, el vapor de agua que salió de la turbina, aunque ha perdido energía calorífica sigue estando en estado gas y muy caliente. Para reutilizar esta agua hay refrigerarla antes de volverla a introducir en el circuito.



Para ello, una vez ha salido de la turbina, el vapor entra en un tanque (depósito de condensación) donde este se enfría al estar en contacto con las tuberías de agua fría. El vapor de agua se vuelve líquido y mediante una bomba se redirige nuevamente al reactor nuclear para volver a repetir el ciclo.

Figura 1.15 Central nuclear.

Por este motivo las centrales nucleares siempre están instaladas cerca de una fuente abundante de agua fría (mar, río, lago), para aprovechar esta agua en el depósito de condensación. La columna de humo blanco que se puede ver saliendo de determinadas centrales es el vapor de agua que se provoca cuando se este intercambio de calor.

### 1.9 Generación de electricidad alterna

Un concepto similar, pero no idéntico es del de las energías alternativas: una energía alternativa, o más precisamente una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante, o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. Según esta definición, algunos autores incluyen la energía nuclear dentro de las energías alternativas, ya que generan muy pocos gases de efecto invernadero.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de "crisis energética" aparece cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía.

Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales tales como el petróleo, gas natural o carbón acarrea consigo problemas como la progresiva contaminación, o el aumento de los gases invernadero.



La discusión energía alternativa/convencional no es una mera clasificación de las fuentes de energía, sino que representa un cambio que necesariamente tendrá que producirse durante este siglo. Es importante reseñar que las energías alternativas, aun siendo renovables, también son finitas, y como cualquier otro recurso natural tendrán un límite máximo de explotación.

Figura 1.16 Energías renovables.

Por tanto, incluso aunque podamos realizar la transición a estas nuevas energías de forma suave y gradual, tampoco van a permitir continuar con el modelo económico actual basado en el crecimiento perpetuo. Es por ello por lo que surge el concepto del Desarrollo sostenible. Dicho modelo se basa en las siguientes premisas:

El uso de fuentes de energía renovable, ya que las fuentes fósiles actualmente explotadas terminarán agotándose, según los pronósticos actuales, en el transcurso de este siglo XXI. El uso de fuentes limpias, abandonando los procesos de combustión convencionales y la fisión nuclear.

La explotación extensiva de las fuentes de energía, proponiéndose como alternativa el fomento del autoconsumo, que evite en la medida de lo posible la construcción de grandes infraestructuras de generación y distribución de energía eléctrica.

La disminución de la demanda energética, mediante la mejora del rendimiento de los dispositivos eléctricos (electrodomésticos, lámparas, etc.)

Reducir o eliminar el consumo energético innecesario. No se trata sólo de consumir más eficientemente, sino de consumir menos, es decir, desarrollar una conciencia y una cultura del ahorro energético y condena del despilfarro.

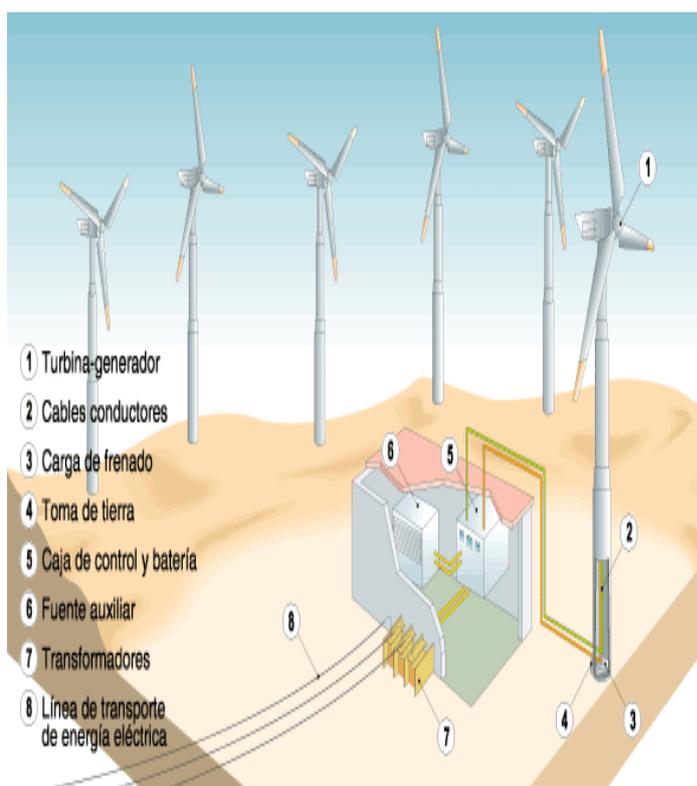


La producción de energías limpias, alternativas y renovables no es por tanto una cultura o un intento de mejorar el medio ambiente, sino una necesidad a la que el ser humano se va a ver abocado, independientemente de nuestra opinión, gustos o creencias.

Figura 1.17 Calentamiento global.

### 1.9.1 Energía eólica

La energía eólica se obtiene mediante el movimiento del aire, es decir, de la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire o de las vibraciones que el dicho viento produce. Los molinos de viento se han usado desde hace muchos siglos para moler el grano, bombear agua u otras tareas que requieren una energía.



En la actualidad se usan aerogeneradores para generar electricidad, especialmente en áreas expuestas a vientos frecuentes, como zonas costeras, alturas montañosas o islas. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Figura 1.18 Planta eólica componentes.

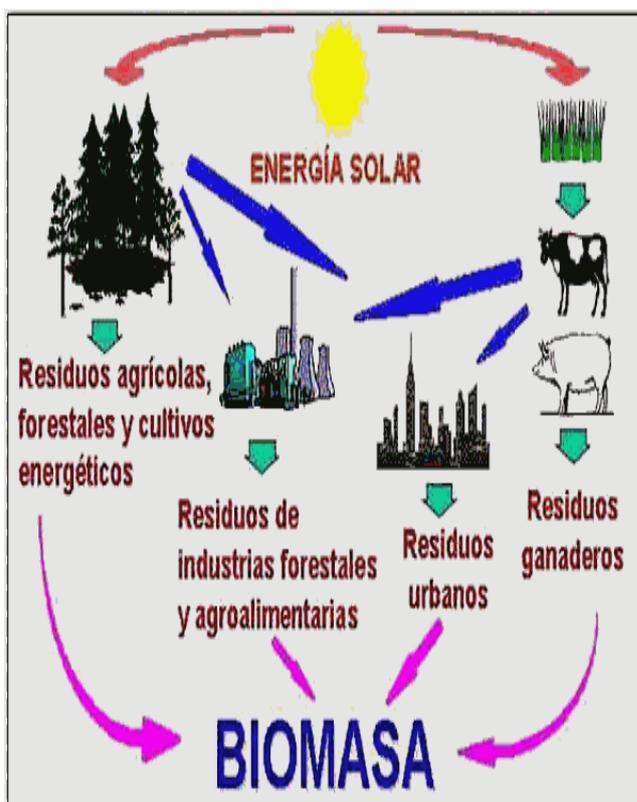
El impacto medioambiental de este sistema de obtención de energía es relativamente bajo, pudiéndose nombrar el impacto estético, porque deforman el paisaje, la muerte de aves por choque con las aspas de los molinos o la necesidad de extensiones grandes de territorio que se sustraen de otros usos.

Además, este tipo de energía, al igual que la solar o la hidroeléctrica, están fuertemente condicionadas por las condiciones climatológicas, siendo aleatoria la disponibilidad de las mismas.

### 1.9.2 Energía biomasa

La biomasa es el nombre dado a cualquier materia orgánica de origen reciente que haya derivado de animales y vegetales como resultado del proceso de conversión fotosintético. La energía de la biomasa deriva del material de origen vegetal y animal, tal como madera de bosques, residuos de procesos agrícolas y forestales, y de la basura industrial, humana o animales.

El valor energético de la biomasa de materia vegetal proviene originalmente de la energía solar a través del proceso conocido como fotosíntesis. La energía química que se almacena en las plantas y los animales (que se alimentan de plantas u otros animales), o en los desechos que producen, se llama bioenergía. Durante procesos de conversión tales como la combustión, la biomasa libera su energía, a menudo en la forma de calor, y el carbón se oxida nuevamente a dióxido de carbono para restituir el que fue absorbido durante el crecimiento de la planta. Esencialmente, el uso de la biomasa para la energía es la inversa de la fotosíntesis.



Este proceso de captación de la energía solar y su acumulación en las plantas y árboles como energía química es un proceso bien conocido. Los carbohidratos, entre los que se encuentra la celulosa, constituyen los productos químicos primarios en el proceso de bioconversión de la energía solar y al formarse aquellos, cada átomo gramo de carbono (14gramos) absorbe 112 kilocalorías de energía solar, que es precisamente la que después se recupera, en parte con la combustión de la celulosa o de los combustibles obtenidos a partir de ella (gas, alcohol, etc.)

Figura 1.19 Ciclo de la biomasa.

En naturaleza, en última instancia toda la biomasa se descompone a sus moléculas elementales acompañada por la liberación de calor. Por lo tanto la liberación de energía de conversión de la biomasa en energía útil imita procesos naturales pero en una tasa más rápida. Por lo tanto, la energía obtenida de la biomasa es una forma de energía renovable. Utilizar esta energía recicla al carbón y no añade dióxido de carbono al medio ambiente, en contraste con los combustibles fósiles. De todas las fuentes renovables de energía, la biomasa se diferencia en que almacena energía solar con eficiencia.

Además, es la única fuente renovable de carbón, y puede ser procesada convenientemente en combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.

La biomasa puede utilizarse directamente (por ejemplo combustión de madera para la calefacción y cocinar) o indirectamente convirtiéndola en un combustible líquido o gaseoso (etanol a partir de cosechas del azúcar o biogás de la basura animal).

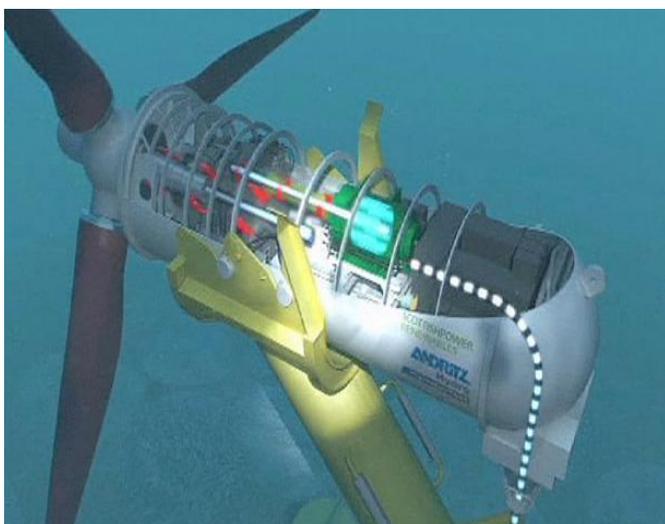
### 1.9.3 Energía mareomotriz

La posibilidad de la extinción de los recursos energéticos fósiles, entre otros motivos, ha conducido a la comunidad científica a considerar el aprovechamiento de fuentes energéticas alternativas renovables, tales como las derivadas del sol, del viento y del océano. Las técnicas de captación de las energías solar y eólica, por ejemplo, han alcanzado ya un grado de desarrollo tal que se han convertido, en algunos casos en económicamente rentables.

La disponibilidad universal de los recursos marinos hace que estos sean vistos como una fuente para saciar, en parte, la creciente demanda de potencia eléctrica.

Si bien la tecnología para captar la energía oceánica existe, Las dificultades que implican las operaciones en el mar hacen que su extracción no resulte tarea fácil. Las posibilidades son muy variadas e incluyen las olas, las corrientes oceánicas, los gradientes térmico y salino del agua de mar, y la marea. De todas

ellas, las que han alcanzado un mayor grado de desarrollo son las que se basan en las olas, el gradiente térmico y la dinámica de la marea. Las restantes se hallan en etapas menos avanzadas.



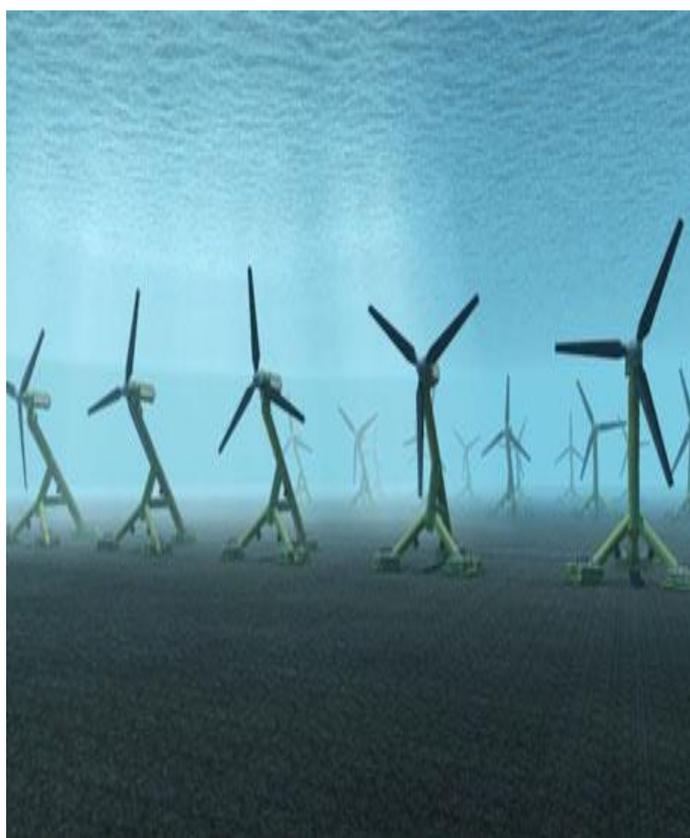
Cada una de estas posibilidades representa una considerable inversión de capital y posee sus propias limitaciones y problemas de implementación.

Figura 1.20 Turbina mareomotriz.

Algunas tienen una producción intermitente, otras necesitan costosos sistemas de almacenamiento, pero todas deben estar en fase con la infraestructura económico-social proporcionada por las tecnologías convencionales.

Es evidente que de todas las formas de energía contenidas en el mar sólo sea posible utilizar aquellas que se adecuen a las restricciones que imponga la propia región de interés.

Por ejemplo, para la conversión de la energía de las olas se requiere que la zona cuente con un adecuado promedio anual en la velocidad del viento, así como con una buena exposición de la costa frente al mar. En el caso de la energía derivada de la marea, el hecho de que se necesiten simultáneamente grandes amplitudes y determinadas condiciones morfológicas, tales como golfos, bahías profundas o estuarios, limita el número de lugares en el mundo en condiciones de albergar un proyecto de este tipo.



Los recursos de las mareas son las variaciones que se dan en el nivel del mar dos veces al día, causadas, principalmente, por el efecto gravitacional de la Luna, y en una menor medida, del Sol, en los océanos del planeta. La rotación de la Tierra es también un factor en la generación de las mareas. El aprovechamiento de la energía de las mareas no es un nuevo concepto y se ha venido usando desde, al menos, el siglo XI, en Inglaterra y Francia para el almacenamiento en molinos de granos.

Figura 1.21 Grupo de turbinas sumergidas.

#### 1.9.4 Energía solar

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol.

La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como celdas fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica.

Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la Humanidad.

Las diferentes tecnologías solares se clasifican en pasivas o activas en función de la forma en que capturan, convierten y distribuyen la energía solar. Las tecnologías activas incluyen el uso de celdas fotovoltaicas y colectores térmicos para recolectar la energía.

Entre las técnicas pasivas, se encuentran diferentes técnicas enmarcadas en la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificios al Sol, la selección de materiales con una masa térmica favorable o que tengan propiedades para la dispersión de luz, así como el diseño de espacios mediante ventilación natural.



En 2011, la Agencia Internacional de la Energía se expresó en los siguientes términos: el desarrollo de tecnologías solares limpias, baratas e inagotables supondrá un enorme beneficio a largo plazo. Aumentará la seguridad energética de los países mediante el uso de una fuente de energía local, inagotable y, aun más importante, independiente de importaciones, aumentará la sostenibilidad, reducirá la contaminación, disminuirá los costes de la mitigación del cambio climático, y evitará la subida excesiva de los precios de los combustibles fósiles.

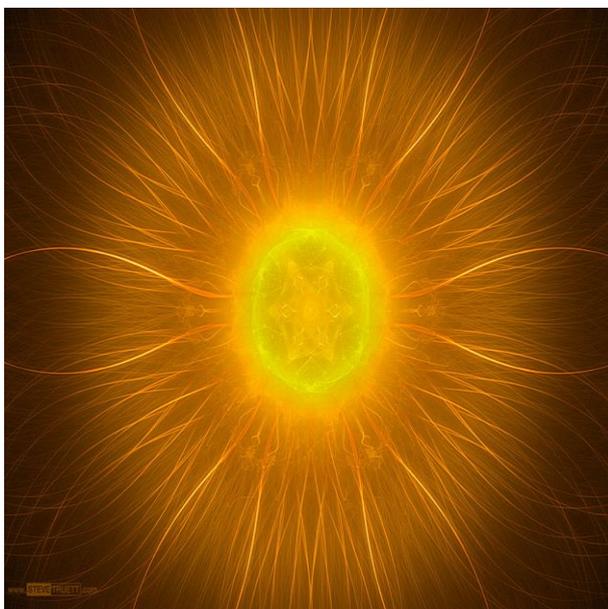
Figura 1.22 Energía solar la fuente del futuro.

Estas ventajas son globales. De esta manera, los costes para su incentivo y desarrollo deben ser considerados inversiones; deben ser realizadas de forma sabia y deben ser ampliamente difundidas.

La fuente de energía solar más desarrollada en la actualidad es la energía solar fotovoltaica. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, la energía solar fotovoltaica podría suministrar electricidad a dos tercios de la población mundial en 2030.

Actualmente, y gracias a los avances tecnológicos, la sofisticación y la economía de escala, el coste de la energía solar fotovoltaica se ha reducido de forma constante desde que se fabricaron las primeras celdas solares comerciales, aumentando a su vez la eficiencia, y su coste medio de generación eléctrica ya es competitivo con las fuentes de energía convencionales en un creciente número de regiones geográficas, alcanzando la paridad de red.

La Tierra recibe 174 petawatts de radiación solar entrante (insolación) desde la capa más alta de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada de vuelta al espacio mientras que el resto es absorbida por las nubes, los océanos y las masas terrestres. El espectro electromagnético de la luz solar en la superficie terrestre está ocupado principalmente por luz visible y rangos de infrarrojos con una pequeña parte de radiación ultravioleta.



La potencia de la radiación varía según el momento del día; las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$  (watts sobre metro cuadrado) en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

Figura 1.23 El sol.

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones.

La irradiancia directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de  $1366 \text{ W/m}^2$  (que corresponde a un valor máximo en el perihelio de  $1395 \text{ W/m}^2$  y un valor mínimo en el afelio de  $1308 \text{ W/m}^2$ ).

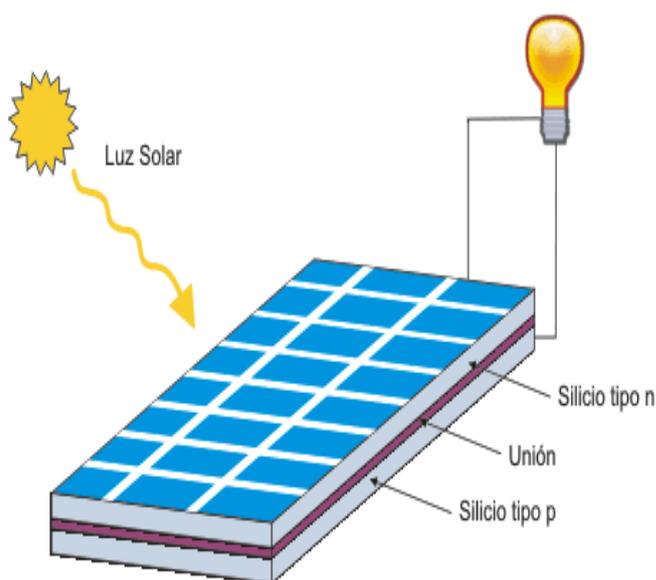
La radiación absorbida por los océanos, las nubes, el aire y las masas de tierra incrementan la temperatura de éstas. El aire calentado es el que contiene agua evaporada que asciende de los océanos, y también en parte de los continentes, causando circulación atmosférica o convección. Cuando el aire asciende a las capas altas, donde la temperatura es baja, va disminuyendo su temperatura hasta que el vapor de agua se condensa formando nubes.

El calor latente de la condensación del agua amplifica la convección, produciendo fenómenos como el viento, borrascas y anticiclones. La energía solar absorbida por los océanos y masas terrestres mantiene la superficie a  $14 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para la fotosíntesis de las plantas verdes la energía solar se convierte en energía química, que produce alimento, madera y biomasa, de la cual derivan también los combustibles fósiles.

Se estima que la energía total que absorben la atmósfera, los océanos y los continentes puede ser de  $3.850.000$  exajoules (EJ) por año. En 2002, esta energía en un segundo equivalía al consumo global mundial de energía durante un año. La fotosíntesis captura aproximadamente  $3.000$  EJ por año en biomasa, lo que representa solo el  $0,08\%$  de la energía recibida por la Tierra. La cantidad de energía solar recibida anual es tan vasta que equivale aproximadamente al doble de toda la

energía producida jamás por otras fuentes de energía no renovable como son el petróleo, el carbón, el uranio y el gas natural.

La energía solar fotovoltaica consiste en la obtención de electricidad (de ahí que se denomine electricidad solar) directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada célula solar de película fina.



Este tipo de energía se usa para alimentar innumerables aparatos autónomos, para abastecer refugios o casas aisladas y para producir electricidad a gran escala para redes de distribución. Debido a la creciente demanda de energías renovables, la fabricación de células solares e instalaciones fotovoltaicas ha avanzado considerablemente en los últimos años.

Figura 1.24 Celda solar.

#### 1.9.4.1 Historia de la celda fotovoltaica

El término fotovoltaico proviene del griego  $\phi\acute{\omega}\varsigma$ :phos, que significa "luz" y voltaico, que proviene del campo de la electricidad, en honor al físico italiano Alejandro Volta, (que también proporciona el término voltio a la unidad de medida de la diferencia de potencial en el Sistema Internacional de medidas). El término fotovoltaico se comenzó a usar en Inglaterra desde el año 1849.

El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Becquerel, pero la primera célula solar no se construyó hasta 1883. Su autor

fue Charles Fritts, quien recubrió una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro para formar el empalme. Este primitivo dispositivo presentaba una eficiencia de sólo un 1%. En 1905 Albert Einstein dio la explicación teórica del efecto fotoeléctrico. Russell Ohl patentó la celda solar moderna en el año 1946, aunque Sven Ason Berglund había patentado, con anterioridad, un método que trataba de incrementar la capacidad de las celdas fotosensibles.

La era moderna de la tecnología de potencia solar no llegó hasta el año 1954 cuando los Laboratorios Bell, descubrieron, de manera accidental, que los semiconductores de silicio dopado con ciertas impurezas, eran muy sensibles a la luz.



Estos avances contribuyeron a la fabricación de la primera célula solar comercial con una conversión de la energía solar de, aproximadamente, el 6%. La URSS lanzó su primer satélite espacial en el año 1957, y los EEUU un año después. En el diseño de éste se usaron celdas solares creadas por Peter Iles en un esfuerzo encabezado por la compañía Hoffman Electronics.

Figura 1.25 Barra de silicio.

La primera nave espacial que usó paneles solares fue el satélite norteamericano Vanguard 1, lanzado en marzo de 1958.

Este hito generó un gran interés en la producción y lanzamiento de satélites geoestacionarios para el desarrollo de las comunicaciones, en los que la energía provendría de un dispositivo de captación de la luz solar. Fue un desarrollo crucial que estimuló la investigación por parte de algunos gobiernos y que impulsó la mejora de los paneles solares.

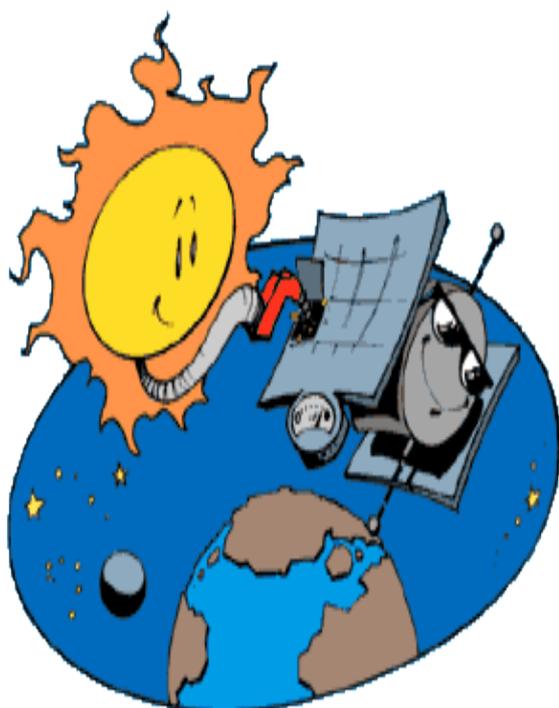


Figura 1.26 celda solar alimentando satélite.

En 1970 la primera celda solar con heteroestructura de arseniuro de galio (GaAs) y altamente eficiente se desarrolló en la extinta URSS por Zhorés Alfiórov y su equipo de investigación.

La producción de equipos de deposición química de metales por vapores orgánicos o MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition), no se desarrolló hasta los años 80 del siglo pasado, limitando la capacidad de las compañías en la manufactura de células solares de arseniuro de galio.

La primera compañía que manufacturó paneles solares en cantidades industriales, a partir de uniones simples de GaAs, con una eficiencia de AM0 (Air Mass Zero) del 17% fue la norteamericana ASEC (Applied Solar Energy Corporation). La conexión dual de la celda se produjo en cantidades industriales por ASEC en 1989, de manera accidental, como consecuencia de un cambio del GaAs sobre los sustratos de GaAs a GaAs sobre sustratos de germanio.

#### Generaciones de celdas fotovoltaicas

La primera generación de celdas fotovoltaicas consistían en una gran superficie de cristal simple. Una simple capa con unión diodo p-n, capaz de generar energía eléctrica a partir de fuentes de luz con longitudes de onda similares a las que llegan a la superficie de la Tierra provenientes del Sol. Estas células están fabricadas, usualmente, usando un proceso de difusión con obleas de silicio. Esta primera generación (conocida también como celdas solares basadas en oblea) son, actualmente, (2007) la tecnología dominante en la producción comercial y constituyen, aproximadamente, el 86% del mercado de células solares terrestres.

La segunda generación de materiales fotovoltaicos se basan en el uso de depósitos epitaxiales muy delgados de semiconductores sobre obleas con concentradores. Hay dos clases de celdas fotovoltaicas epitaxiales: las espaciales y las terrestres. Las celdas espaciales, usualmente, tienen eficiencias AM0 (Air Mass Zero) más altas (28-30%), pero tienen un costo por vatio más alto. En las terrestres la película delgada se ha desarrollado usando procesos de bajo coste, pero tienen una eficiencia AM0 (7-9%), más baja, y, por razones evidentes, se cuestionan para aplicaciones espaciales.

Las predicciones antes de la llegada de la tecnología de película delgada apuntaban a una considerable reducción de costos para celdas solares de película delgada. Reducción que ya se ha producido. Actualmente (2007) hay un gran número de tecnologías de materiales semiconductores bajo investigación para la producción en masa. Se pueden mencionar, entre estos materiales, al silicio amorfo, silicio monocristalino, silicio policristalino, telururo de cadmio y sulfuros y seleniuros de indio. Teóricamente, una ventaja de la tecnología de película delgada es su masa reducida, muy apropiada para paneles sobre materiales muy ligeros o flexibles. Incluso materiales de origen textil.

La llegada de películas delgadas de Ga y As para aplicaciones espaciales (denominadas celdas delgadas) con potenciales de eficiencia AM0 por encima del 37% están, actualmente, en estado de desarrollo para aplicaciones de elevada potencia específica. La segunda generación de celdas solares constituye un pequeño segmento del mercado fotovoltaico terrestre, y aproximadamente el 90% del mercado espacial.

La tercera generación de celdas fotovoltaicas que se están proponiendo en la actualidad (2007) son muy diferentes de los dispositivos semiconductores de las generaciones anteriores, ya que realmente no presentan la tradicional unión p-n para separar los portadores de carga fotogenerados. Para aplicaciones espaciales, se están estudiando dispositivos de huecos cuánticos (puntos cuánticos, cuerdas cuánticas, etc.) y dispositivos que incorporan nanotubos de carbono, con un potencial de más del 45% de eficiencia AM0. Para aplicaciones terrestres, se

encuentran en fase de investigación dispositivos que incluyen celdas fotoelectroquímicas, celdas solares de polímeros, celdas solares de nanocrisales y celdas solares de tintas sensibilizadas.

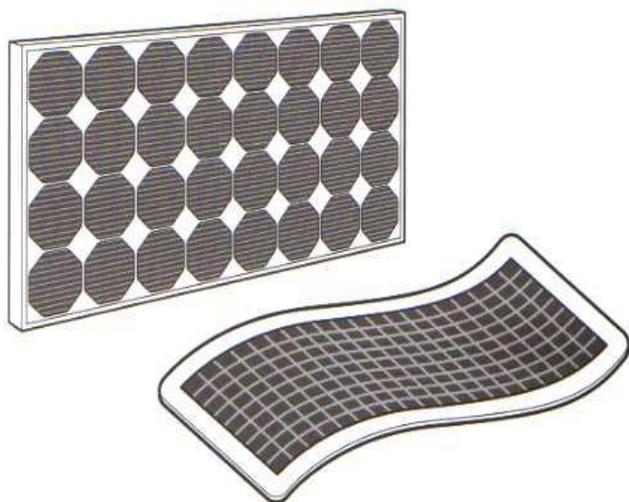


Figura 1.27 Tecnologías modernas.

Una hipotética cuarta generación de células solares consistiría en una tecnología fotovoltaica compuesta en las que se mezclan, conjuntamente, nanopartículas con polímeros para fabricar una capa simple multiespectral. Posteriormente, varias capas delgadas multiespectrales se podrían apilar para fabricar las celdas solares multiespectrales definitivas.

Celdas que son más eficientes, y baratas. Basadas en esta idea, y la tecnología multiunión, se han usado en las misiones de Marte que ha llevado a cabo la NASA. La primera capa es la que convierte los diferentes tipos de luz, la segunda es para la conversión de energía y la última es una capa para el espectro infrarrojo.

## 2.1 Historia de la iluminación arquitectónica

Durante la mayor parte de su historia, desde la creación de la especie humana hasta el siglo XVIII, la humanidad sólo ha dispuesto de dos fuentes de luz. La más antigua de estas fuentes es la diurna, el verdadero medio de nuestra percepción visual, a cuyas propiedades se ha adaptado el ojo durante los millones de años que ha durado la evolución. Bastante más tarde, durante la edad de piedra, con el desarrollo de técnicas culturales y herramientas, nos encontramos con la segunda fuente de luz, que es artificial: la llama.

A partir de aquí las condiciones de alumbrado no varían durante mucho tiempo; las pinturas rupestres de Altamira se pintan y se observan bajo la misma luz que las del renacimiento y el barroco. Pero precisamente debido a que la iluminación se debe limitar a la luz diurna y a la llama, el trato con estas fuentes de luz, que se han manejado durante decenas de miles de años, se ha ido perfeccionando una y otra vez.



Figura 2.1 Estructuras con ventanas pequeñas.

Para el campo de la luz diurna esto significa en primer lugar una adaptación consecuente de la arquitectura a las necesidades de una iluminación con luz natural. Así se determina la orientación de edificios y la situación de los distintos espacios interiores en función de la penetración de la luz solar; también las superficies de los espacios se calculan según la posibilidad de una iluminación y una ventilación naturales.

Dependiendo de las condiciones lumínicas en diferentes zonas climáticas de la Tierra, se desarrollan distintos tipos básicos de arquitectura de luz diurna.

En las regiones más frías, con un cielo normalmente cubierto, se construyen edificios con grandes ventanas dispuestas en lo alto, a través de las cuales pueda penetrar directamente la máxima cantidad posible de luz. Mediante la difusa luz celeste se origina así una iluminación uniforme; la problemática de la luz solar, el sombreado, el deslumbramiento y el calentamiento de espacio se reduce a pocos días de sol, por lo que necesita menor atención.

En países con una elevada acción solar, por el contrario, estos problemas se encuentran en primer lugar. En estos casos dominan los edificios bajos con ventanas pequeñas, dispuestas más hacia abajo, y paredes exteriores muy reflectantes. De este modo, la luz solar prácticamente no penetra directamente en el espacio interior; la iluminación se produce sobre todo a través de la luz reflejada por el entorno del edificio que se derrama por la reflexión y anteriormente ya se ha deshecho de gran parte de su componente infrarrojo.

Más allá de la cuestión sobre una iluminación cuantitativamente suficiente, en el trato con la luz diurna también se tienen en cuenta los aspectos estéticos y de percepción psicológica.



Figura 2.2 Lámpara antigua de aceite.

Esto, por ejemplo, se demuestra en el tratamiento de los detalles arquitectónicos, que según el tipo de la iluminación se deben configurar de modo diferente, para poder dar un efecto cúbico por el juego entre luz y sombra. Detalles de columnas, como acanalados, relieves y cornisas, parecen ya, bajo la luz directa del sol, esculturales a poca profundidad;

para el mismo efecto en la configuración de detalles arquitectónicos que reciben una iluminación difusa se necesita una profundidad bastante más grande.

Así, en los países más meridionales se configuran las fachadas mediante estructuras ligeras en la superficie, mientras que en las latitudes del norte la arquitectura y la formación de los espacios interiores no puede prescindir de las formas más penetrantes e incrustaciones de color para la configuración de las superficies.

Pero la luz no sólo sirve para el efecto plástico de cuerpos cúbicos, también es un medio extraordinario para la conducción psicológica de la percepción. Ya en los templos del antiguo Egipto por ejemplo, en el templo de sol de Amun Re en Karnak o en Abu Simbel la luz se presenta en forma de iluminación general uniforme, como medio para la acentuación de lo esencial las columnatas, que se oscurecen progresivamente, permiten al observador la adaptación a una iluminación mínima, de la cual surge la imagen del ídolo iluminado de modo puntual, que da la sensación de algo con una claridad dominante.

Con frecuencia, la construcción arquitectónica tiene adicionalmente un efecto luminoso de reloj astronómico, que sólo se produce en días o estaciones trascendentales; a la salida o la puesta del sol o en los solsticios, respectivamente.



Esta capacidad para conseguir una iluminación de luz diurna psicológica y diferenciadamente puntual se va perfeccionando cada vez más en el transcurso de la historia, encontrando su momento culminante en las iglesias de estilo barroco por ejemplo, la iglesia de la Peregrinación en Birnau o la de Wies de Dominikus Zimmermann,

Figura 2.3 Iglesia de la peregrinación de Birnau.

que guían la mirada del visitante desde la difusa claridad de la nave principal hacia la zona del altar inundada de luz, bajo cuya luz puntual sobresalen tallas en madera con adornos dorados de modo muy brillante y plástico.

## 2.2 Iluminación artificial

También en el área de la iluminación artificial se puede hablar de un perfeccionamiento comparable; un desarrollo al cual, por cierto, se han puesto claras limitaciones debido a la insuficiente luminosidad de las fuentes de luz disponibles. Al principio se encuentra la separación entre la llama brillante del fuego que da calor y el aprovechamiento por separado de ramas ardientes fuera del hogar.

En este caso resulta muy natural elegir piezas de madera fácilmente inflamables y una buena intensidad luminosa, o sea, sustituir la rama por la madera especialmente resinosa. En el siguiente paso ya no sólo se aprovecha una propiedad natural de la madera; con la antorcha se produce artificialmente la intensidad luminosa mediante la aplicación de materiales inflamables.



Con el desarrollo de la lámpara de aceite y la candela, finalmente, se dispone de unas fuentes de luz relativamente seguras; de un modo económico se aprovechan escogidos combustibles, con lo que la antorcha queda reducida a la mecha como el medio de transporte para el aceite o la cera.

Figura 2.4 Mechas para lámparas.

Con la lámpara de aceite, desarrollada en una época prehistórica, se ha conseguido por mucho tiempo el máximo escalón en el progreso luminotécnico.

Es cierto que la lámpara en sí más tarde llega el candil se sigue desarrollando cada vez más, se crean magníficos candelabros de estilos cada vez más nuevos; la propia llama, y con ella su luminosidad, en cambio, no varían. Pero como esta intensidad luminosa, en comparación con las actuales fuentes de luz, es muy reducida, queda la iluminación artificial como recurso en caso de urgencia.

Al contrario de lo que ocurre con la luz diurna, que permite una iluminación diferenciada y soberana de todo el espacio, la claridad de la llama se limita siempre sólo a su inmediato alrededor. O sea, las personas se reúnen cerca de la fuente de luz o colocan ésta directamente al lado del objeto a iluminar. La noche se aclara sólo escasamente con este método; una iluminación abundante requiere innumerables y costosas luminarias y sólo es imaginable para suntuosas fiestas cortesanas. La iluminación arquitectónica en el sentido actual es casi exclusivamente un tema de la luz diurna hasta muy avanzado el siglo XVIII.

### 2.3 Ciencias naturales e iluminación

La razón para el estancamiento en el desarrollo de potentes fuentes de luz artificial se encuentra en los insuficientes conocimientos de las ciencias naturales; en el caso de la lámpara de aceite, por las equivocadas ideas en cuanto a su comportamiento en la combustión.



Figura 2.5 Antoine Lavoisier.

Hasta la aparición de la química moderna era válida la idea procedente de la antigüedad de que al quemarse una sustancia se liberaba el flogisto. Según esta idea, una materia combustible de ceniza y flogisto (los antiguos elementos de tierra y fuego) se separa al quemarse: el flogisto se libera como llama, la tierra queda atrás como ceniza.

Basándose en esta teoría se entiende que una optimización de procesos de combustión es imposible, debido a que no se conoce el significado del suministro de aire para la llama.

Sólo a través de los experimentos de Lavoisier se impone el conocimiento de que la combustión significa el almacenamiento de oxígeno y, por tanto, cada llama depende del suministro de aire. Los experimentos de Lavoisier se realizan durante los años setenta del siglo XVIII.

Poco después, en 1783, los nuevos conocimientos se aplican a la luminotecnia. François Argand construye la lámpara Argand, definida por él mismo como una lámpara de aceite con mecha en forma de tubo, donde el aire puede llegar a la llama tanto por el interior del tubo como desde el exterior de la mecha. Mediante este suministro mejorado de oxígeno y al mismo tiempo una mayor superficie de mecha se consigue de pronto un gran avance en cuanto al aumento de la potencia luminosa.



En el siguiente paso, mecha y llama se envuelven mediante un cilindro de cristal, cuyo efecto de chimenea proporciona un mayor caudal de aire y con ello un nuevo aumento de la potencia. Con la lámpara Argand se configura la forma definitiva de la lámpara de aceite, incluso las actuales lámparas de petróleo siguen funcionando según este inmejorable principio. Muy pronto se conocen los instrumentos ópticos como ayuda al control de la luz.

Figura 2.6 Lámpara Argand.

Ya en la antigüedad se utilizan y describen teóricamente los espejos; la leyenda dice de Arquímedes que frente a Siracusa y mediante espejos cóncavos

incendió barcos enemigos. Alrededor del cambio del primer milenio se encuentran en el área árabe y china trabajos teóricos sobre el modo de formar las lentes ópticas.

A partir del siglo XIII, estas lentes pueden demostrarse concretamente, la mayoría de las veces se utilizan como ayuda visual en forma de lupas (piedras de lectura) o gafas. Como material se utiliza en un principio berilio tallado, más tarde esta costosa piedra semipreciosa es sustituida por cristal, pudiéndose producir ahora en una calidad suficientemente clara.

Aún hoy día el término alemán Brille para referirse a las gafas nos recuerda al material original para la ayuda visual, el berilio. Hacia fines del siglo XVI, los talladores de lentes holandeses desarrollan los primeros telescopios. En el siglo XVII, estos aparatos son perfeccionados por Galilei, Kepler y Newton; se construyen microscopios y aparatos de proyección. Al mismo tiempo, nacen teorías fundamentales sobre el comportamiento de la luz.



Figura 2.7 Isaac Newton.

Newton sostiene la tesis de que la luz se compone de partículas una idea que se puede remontar hasta sus orígenes en la antigüedad, mientras que Huygens concibe la luz como fenómeno ondulatorio. Ambas teorías rivalizan justificándose por una serie de fenómenos ópticos y coexisten en paralelo; hoy está claro que la luz no es ni una partícula pura, ni un fenómeno ondulatorio puro y debe entenderse como una combinación de ambos principios.

A través de la evolución de la fotometría la ciencia de la medición de luz y de las iluminancias (Boguer y Lambert, siglo XVIII) se encuentran finalmente los fundamentos científicos más esenciales para una luminotecnia funcionalmente apta.

A pesar de ello, se limita la aplicación de los principios conocidos, casi exclusivamente, a la construcción de aparatos ópticos, como el telescopio y el microscopio, es decir, a instrumentos que sirven para la observación y dependen de las fuentes de luz del exterior. Un control de la luz mediante reflectores y lentes, como teóricamente es posible y alguna vez se ha probado, fracasa por la inaccesibilidad de las fuentes de luz existentes.

En el campo del alumbrado doméstico se puede admitir la ausencia de una luz orientable de origen lejano, ya que se compensa con la luz de la lámpara de aceite; en otros campos, en cambio, esta falta ocasiona graves problemas. Esto es lo que ocurre en situaciones de alumbrado en las que existe una distancia considerable entre la fuente de luz y el objeto a iluminar, sobre todo en el alumbrado de calles y la iluminación escénica; y en la técnica de la señalización, especialmente en la construcción de faros.

Por este motivo no es de extrañar que la lámpara Argand, con su aumento considerable de la intensidad luminosa, no sólo sirva para proporcionar más claridad a la sala de estar, sino que encuentre precisamente en estos campos una enorme aceptación, utilizándola para el desarrollo de sistemas de control de la luz.



Figura 2.8 Lentes de Fresnel.

Esto es en primer lugar válido para el alumbrado de calles y de escenarios, donde se utiliza la lámpara Argand ya poco después de su desarrollo, pero sobre todo para el balizamiento luminoso de faros, que hasta entonces sólo podían abastecerse provisionalmente con brasas de carbón o un sinnúmero de lámparas de aceite. La propuesta de equipar los faros con sistemas compuestos por lámparas Argand y espejos parabólicos surge en 1785; seis años más tarde se hace realidad en el faro más prominente de Francia, en Cordouan.

Finalmente, en 1820, Augustin Jean Fresnel desarrolla un sistema de lentes escalonadas y aros prismáticos que se pueden producir en un tamaño suficientemente grande para poder enfocar óptimamente la luz de los faros; también esta construcción es probada por primera vez en Cordouan. Las lentes Fresnel constituyen desde entonces el fundamento para cualquier balizamiento luminoso de los faros, pero además también son utilizadas en numerosos tipos de proyectores.

## 2.4 Fuentes de luz modernas

Con la lámpara Argand, la lámpara de aceite alcanzaba, a través del manejo más eficaz de la llama, su versión óptima como fuente de luz. A través del avance de las ciencias naturales, que posibilitan este último paso evolutivo, se desarrollarán fuentes de luz completamente nuevas, que revolucionarán la luminotecnia a pasos cada vez más rápidos.

### 2.4.1 Fuentes eléctricas de luz

También la luz de gas incandescente tiene el mismo destino que la mayoría de las fuentes de luz, que en la época de su perfeccionamiento ya se encuentran aventajadas por otros iluminantes.

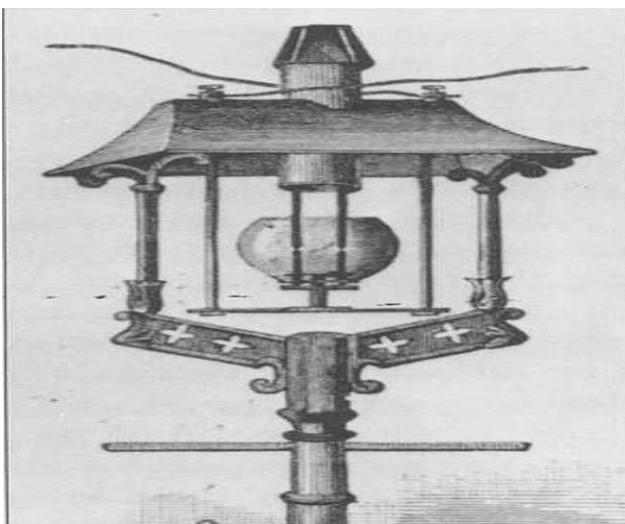


Figura 2.9 Lámpara de arco.

Esto vale para la tradicional vela (no se elimina el ennegrecimiento con el humo hasta 1824, mediante una mecha antepuesta), para la lámpara Argand, cuya marcha triunfal coincide con el desarrollo del alumbrado de gas, y también para la iluminación con manguitos incandescentes de gas, que debe entrar en competencia con las nuevas formas desarrolladas de la luz eléctrica.

A diferencia de lo ocurrido en los casos de la lámpara de aceite y el alumbrado de gas, que tuvieron unos comienzos poco luminosos, consiguiendo posteriormente un desarrollo con formas más potentes, en el caso de la luz eléctrica se obtiene primero la forma más luminosa.

Ya a principios del siglo XIX, se sabe que mediante el empleo de una tensión entre dos electrodos de carbono se puede producir un arco voltaico extremadamente luminoso. Pero al igual que ocurre con la luz de calcio de Drummond, hay que efectuar continuas nuevas regulaciones manuales, razón suficiente para que no se imponga esta nueva fuente de luz. Además, las lámparas de arco sólo funcionan de momento conectadas a costosas baterías.

A mediados de siglo se construyen las primeras lámparas auto regulables, que eliminan la incómoda regulación manual, y sobre todo se dispone de generadores que proporcionan una alimentación eléctrica continua. Pero de momento sólo se puede acoplar una sola lámpara de arco por fuente eléctrica; una conexión de lámparas en serie la división de la luz, tal como se denomina en el lenguaje del tiempo no es posible debido a que los diferentes estados de encendido de cada una de las lámparas provocan que toda la línea se apague rápidamente.

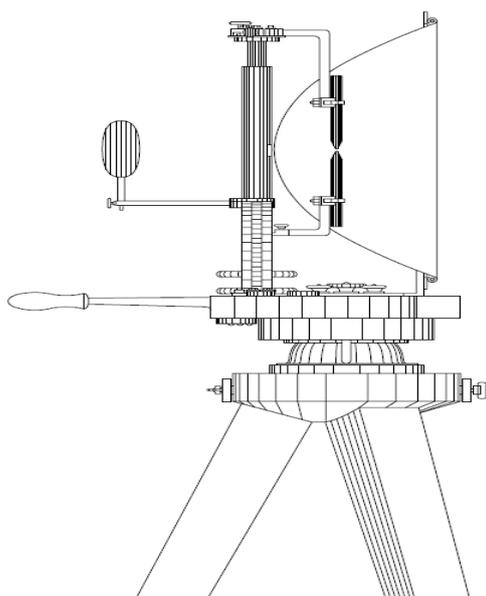


Figura 2.10 Lámpara Siemens.

Hay que esperar hasta los años setenta del siglo XIX, para que este problema quede resuelto. Una solución simple es la bujía Jablochhoff, donde dos electrodos de carbono paralelos están embutidos en un cilindro de yeso, quemándose uniformemente de arriba abajo. Una solución aún más compleja, pero también más segura, proporciona la lámpara diferencial desarrollada en 1878, por el alemán Friedrich v. Hefner-Alteneck,

un ingeniero de Siemens, en la cual la corriente de la lámpara se mantenía constante regulando tanto la tensión del arco como su corriente mediante un sistema electromagnético.

Mediante la divisibilidad de la luz se convierte la lámpara de arco en una fuente de luz practicable, que no sólo se utiliza en casos aislados, sino que encuentra una amplia aplicación. Se aplica en todos aquellos lugares en los que se puede aprovechar su predominante intensidad luminosa: nuevamente en faros, en la iluminación escénica, pero sobre todo para cualquier forma de iluminación pública en exteriores.

Para la aplicación en viviendas particulares, en cambio, no es tan adecuada, debido a que una novedad en la luminotecnica proporciona demasiada luz. Por lo tanto, para poder suprimir el alumbrado de gas en las viviendas son necesarias otras formas de iluminación eléctrica.



Figura 2.11 Humphrey Davy.

Que los conductores eléctricos se calientan con una resistencia suficientemente grande, que ocasionalmente incluso se ponen en incandescencia, se supo muy pronto; Humphrey Davy demuestra ya en 1802, ocho años antes de su espectacular representación de la primera lámpara de arco que se puede obtener luz eléctricamente mediante un filamento de platino.

Igual que con la lámpara de arco, también en el caso de la lámpara incandescente son las dificultades técnicas las que impiden que esta nueva fuente de luz se imponga. Pocos materiales tienen un punto de fusión lo suficientemente alto para poder posibilitar la incandescencia fotógena anterior a la fundición.

Además, la gran resistencia requiere filamentos delgados, que son difíciles de fabricar, se rompen fácilmente y se consumen rápidamente con el oxígeno del aire.

Por eso los primeros ensayos con filamento de platino o de carbono no sobrepasan la mínima duración de encendido. Una prolongación clara de la duración de encendido no se consigue hasta que puede evitarse que el filamento hasta entonces casi siempre fabricado de carbono o grafito se consuma mediante su colocación en una ampolla al vacío o rellena de gas inerte.

Los pioneros son Joseph Wilson Swan, quien con su lámpara de grafito se adelanta nada menos que medio año a Thomas Alva Edison, pero sobre todo Heinrich Goebel, quien ya en 1854, fabricó lámparas eléctricas de filamentos de bambú carbonizado, hermetizadas en botellas de colonia vacías con una duración de vida de 220 horas.



Figura 2.12 Lámpara de Edison.

Pero quien finalmente logró el éxito fue Edison, quien a partir de las construcciones experimentales de sus antecesores consiguió desarrollar, en 1879, un producto industrial en serie que en muchos puntos hasta llegar a la construcción del casquillo roscado correspondía a las actuales lámparas incandescentes. Lo único que aún necesita mejorarse es el filamento.

Edison aprovecha al principio el filamento de bambú carbonizado de Goebel. Más tarde se desarrollan filamentos de carbón sintéticos, que se obtienen por inyección de nitrocelulosa. Pero un notable aumento de la eficacia luminosa, el punto débil de todas las lámparas incandescentes, no es posible hasta desarrollar el camino de los filamentos metálicos.

Aquí destaca nuevamente Auer von Welsbach, quien ya hizo posible un alumbrado de gas eficiente con el desarrollo del manguito incandescente. Auer utilizó filamentos de osmio, que se obtienen laboriosamente extrayendo una mezcla de polvo de osmio y un aglutinante a base de carbón. Pero la estabilidad de los filamentos es muy baja, de modo que se imponen en el mercado las más robustas lámparas de tántalo, que se desarrollan algo más tarde.

La producción de éstas, a su vez, cesa en favor de las lámparas con filamento de volframio, es decir, lámparas de tungsteno, un material que se sigue utilizando hoy día para los filamentos de las lámparas incandescentes. Después de la lámpara de arco y la incandescente nacen las lámparas de descarga como tercera forma de iluminación eléctrica.

También en este caso los primeros conocimientos físicos preceden en el tiempo a la realización práctica. Ya en el siglo XVII, existen informes sobre luminiscencias en barómetros de mercurio; la primera demostración de una lámpara de descarga la proporciona Humphrey Davy, quien estudia sistemáticamente las tres formas de iluminación eléctrica a principios del siglo XVIII.



Pero hasta la construcción de lámparas de descarga aptas para el consumo pasan casi ochenta años; sólo después de imponerse la lámpara incandescente aparecen, a principios del siglo XX, las primeras lámparas de descarga para fines de iluminación en el mercado.

Figura 2.13 Lámpara Moore.

Se trata, por un lado, de la lámpara-Moore un precursor del actual tubo fluorescente (neón), que trabaja con largos tubos de vidrio, de diversas formas,

tensiones altas y una descarga eléctrica de alto vacío, así como de la lámpara de vapor de mercurio de baja presión, que se corresponde prácticamente con la actual lámpara fluorescente, pero sin la capa de polvo fluorescente.

La lámpara Moore como hoy día el tubo fluorescente se utiliza sobre todo para la iluminación perimetral en la arquitectura y para fines publicitarios; su intensidad luminosa es demasiado baja para una función de iluminación real.

En contra partida, la lámpara de vapor de mercurio ofrece una notable eficacia luminosa, por lo que se convierte en competencia para la relativamente poco rentable lámpara incandescente.

Pero frente a esta ventaja se encuentra ahora una insuficiente reproducción cromática, que sólo permite una utilización para los más sencillos cometidos de iluminación. La solución a este problema se encuentra de dos maneras distintas. Una posibilidad consiste en igualar mediante sustancias luminosas añadidas las zonas espectrales que faltan en la descarga de vapor de mercurio.



Con ello se produce la lámpara fluorescente, que realmente alcanza una buena reproducción cromática y, al mismo tiempo, debido al aprovechamiento de abundantes componentes ultravioletas existentes, ofrece una mayor eficacia luminosa. El segundo principio consiste en el aumento de la presión del vapor de mercurio. Con ello desde luego sólo se obtiene una reproducción cromática moderada, pero se alcanza una eficacia luminosa considerablemente mejorada.

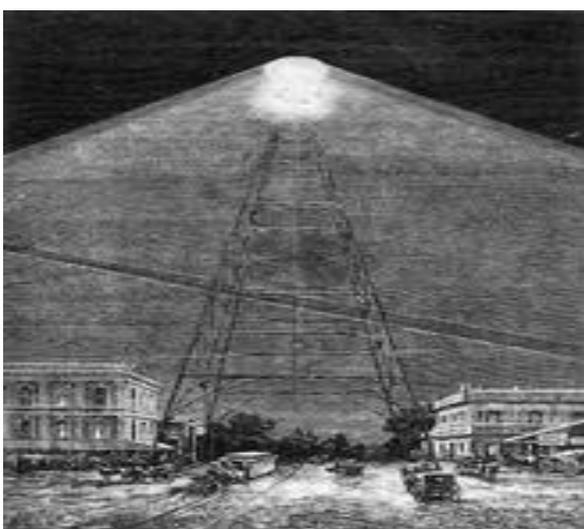
Figura 2.14 Lámpara moderna.

Además, de este modo se pueden conseguir adicionalmente altas intensidades luminosas, con lo que la lámpara de vapor de mercurio de alta presión se convierte en la competidora de la lámpara de arco.

## 2.5 Planificación de iluminación cuantitativa

Se puede decir que unos cien años después del comienzo del estudio científico acerca de las fuentes de luz ya existen al menos en su forma primitiva todas las lámparas usuales en la actualidad. Si en toda la historia anterior sólo se disponía de la suficiente luz durante el día, la luz artificial, hasta entonces considerada una ayuda de emergencia, se convierte en una iluminación de igual condición.

Iluminancias similares a las de la luz diurna, sea en espacios interiores, por ejemplo en una vivienda o un puesto de trabajo, sea en la iluminación exterior, por ejemplo en calles y plazas, o en el alumbrado de edificios, son ya sólo una cuestión de esfuerzo técnico. Sobre todo en el alumbrado de calles se tiene la tentación de convertir la noche en día y con ello prácticamente eliminarla. En Estados Unidos se desarrollan proyectos que iluminan ciudades enteras mediante una trama de torres luminosas.



Pero este alumbrado por proyectores aporta más desventajas que ventajas, debido al deslumbramiento y a los sombreados, de modo que pronto vuelve a desaparecer este estilo en el alumbrado de exteriores. Tanto el intento de conseguir una iluminación que alcance toda la ciudad como su fracaso pueden considerarse síntomas para una nueva fase en el trato con la luz artificial.

Figura 2.15 Torre de luz americana.

Si antes las insuficientes fuentes de luz resultaban ser el problema principal, ahora se sitúa en primer término el trato conveniente con un exceso de luz; se debe determinar cuánta luz y qué formas de iluminación son necesarias en determinadas situaciones de alumbrado. Sobre todo en el campo de la iluminación de puestos de trabajo se estudia intensivamente la influencia del tipo de iluminación e iluminancia sobre el aumento de la producción.

Basándose en estudios fisiológicos de la percepción, se formalizan de este modo las recomendaciones, que, por un lado, exigen las iluminancias mínimas para determinadas tareas visuales y, por otro lado, indican las calidades mínimas para la reproducción cromática y la limitación de deslumbramiento.

En principio estas recomendaciones están pensadas para la iluminación de puestos de trabajo y sirven de orientación para otras aplicaciones. No obstante, adolecen de una clara orientación hacia el control de la cantidad de luz y se limitan a explorar y fundamentarse en la fisiología del ojo humano.



Figura 2.16 Iluminación en el área de trabajo.

Que el objeto percibido en la mayoría de los casos es algo más que un simple cometido visual sin sentido, que el hombre que ve posee, aparte de la fisiología del ojo, una psicología de la percepción, no se tiene aquí en cuenta. Así, la planificación de la cantidad de luz se conforma con proporcionar una iluminación general uniforme, que haga justicia al más difícil cometido visual, manteniéndose además dentro de los límites de las normas en lo que se refiere al deslumbramiento y a la reproducción del color.

Con esta luz el hombre percibe una arquitectura, pero las sensaciones que se transmiten con esta percepción, así como la aprehensión estética, quedan fuera del alcance de los principios aplicados en la iluminación.

## 2.6 Principios de una nueva planificación de iluminación

Por eso no sorprende que ya pronto junto a la luminotecnia de orientación cuantitativa se desarrollen los principios para una teoría de planificación, que se ajusta más a la iluminación arquitectónica y sus necesidades.

En parte estos conceptos se forman dentro del propio marco de la luminotecnia; aquí hemos de nombrar sobre todo a Joachim Teichmüller, el fundador del primer instituto alemán de luminotecnia, en Karlsruhe. Teichmüller definió el concepto de la iluminación arquitectónica, como una arquitectura que entiende la luz como material de construcción, incluyéndolo conscientemente en toda la configuración arquitectónica.

No por último y seguramente también siendo el primero, hace referencia a que la luz artificial puede superar a la luz diurna en la iluminación arquitectónica, si se diferencian y utilizan conscientemente sus posibilidades.

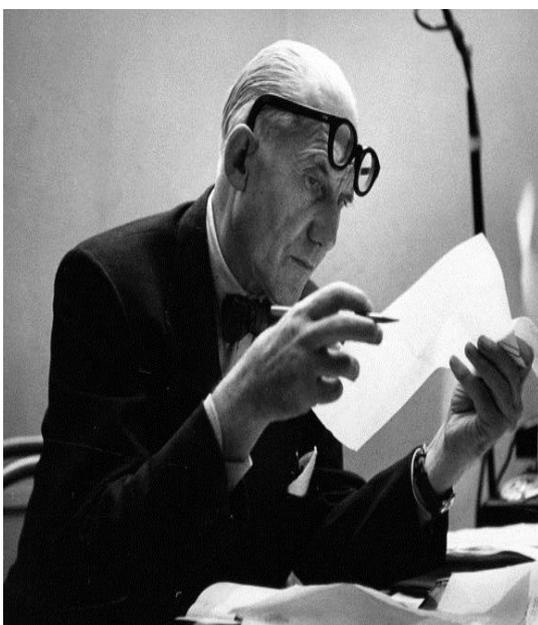


Más fuerte en cambio que dentro de la luminotecnia, que en general más bien se inclina hacia una filosofía cuantitativa de iluminación, se crean por los propios arquitectos nuevos conceptos en la iluminación arquitectónica. Para la arquitectura ya desde mucho antes eran conocidos el efecto de la luz sobre formas mejor marcadas y estructuradas procedentes de la iluminación diurna, así como el significado del juego entre luz y sombra.

Figura 2.17 Joachim Teichmüller.

Con la creación de fuentes de luz eficaces, se añaden a estos conocimientos en la técnica de luz diurna las posibilidades de la luz artificial. La luz ya no sólo tiene el efecto desde el exterior hacia el interior, sino que puede iluminar a gusto los espacios interiores e incluso dispersarse desde el interior hacia el exterior.

Si Le Corbusier denominaba la arquitectura el sabio, adecuado y maravilloso juego de los cuerpos en la luz, esto ya no sólo se refiere a la luz solar, sino que también incluye el espacio interior iluminado artificialmente.



De este nuevo conocimiento sobre la luz queda especialmente afectado el significado de grandes superficies de ventanas en la arquitectura de acristalamientos, que no sólo representan la apertura para facilitar la penetración al interior de la luz diurna, sino que por encima de ello determinan el efecto nocturno de la arquitectura artificialmente iluminada. Sobre todo por parte de los arquitectos amantes del vidrio se considera el edificio como una figura cristalina y luminiscente.

Figura 2.18 Arq. Charles Édouard  
Jeanneret-Gris (Le Corbusier).

Ideas utópicas de una arquitectura de cristal, ciudades luminosas de torres de luz y edificaciones acristaladas, tal como las de Paul Scheerbart, de momento se proyectan en los mismos términos visuales planos y dibujos sobre cúpulas y cristales luminosos.

No mucho después, en los años veinte del siglo XX, estas ideas en la arquitectura de cristal ya se realizan concretamente: grandes edificios o almacenes aparecen por la noche como articuladas figuras luminiscentes debido a la cambiante imagen de oscuras paredes y las más claras superficies acristaladas.

La luminotecnia va claramente más allá de una simple creación de iluminancias, incluye las estructuras de la arquitectura iluminada en sus reflexiones. A pesar de ello, también este comienzo se queda aún atrás, debido a que el edificio se considera sólo como una totalidad, sobre todo si se mira como una vista exterior nocturna, donde se sigue ignorando al hombre observador en el interior del edificio.

Hasta la Segunda Guerra Mundial, por tanto, los edificios destacan en parte por su muy bien diferenciada iluminación exterior, pero la tendencia hacia una iluminación reticulada de orientación cuantitativa y sin imaginación en los interiores del edificio prácticamente no tiene éxito.

Para llegar hasta los conceptos trascendentes de la iluminación arquitectónica, además de la luz y la arquitectura, se debe considerar también al hombre como tercer factor en el triángulo de actividad de la iluminación. Iniciativas hacia este reconocimiento proceden sobre todo de la psicología perceptiva.

A diferencia de lo que ocurre en la investigación fisiológica, aquí no sólo se pregunta por el ojo, por los valores límites cuantitativos para la percepción abstracta de tareas visuales.



En el centro se encuentra más bien el hombre perceptivo, la idea de cómo se compone concretamente la realidad percibida en el proceso de la visión. A través de estos estudios se reconoce muy pronto que la percepción no es un simple proceso de reproducción visual, no es sacar fotografías del entorno.

Figura 2.19 Percepción de la luz en el ojo humano.

Numerosos fenómenos ópticos muestran más bien que en la percepción se realiza una compleja interpretación de los estímulos del entorno, que ojo y mente reproducen menos nuestra realidad que construyéndola. En este trasfondo la iluminación recibe un significado totalmente nuevo.

La luz no es ya sólo una fuerza prácticamente fototécnica, que se ocupa de proporcionar una exposición suficiente, sino que se convierte también en un factor decisivo para nuestra percepción.

Por otra parte, la iluminación no sólo se ocupa de proporcionar la visibilidad general de nuestro entorno, sino que determina, como condición de percepción central, con qué prioridad y de qué modo se observan los diferentes objetos de nuestro entorno visual.

#### 2.6.1 Planificación de iluminación cualitativa

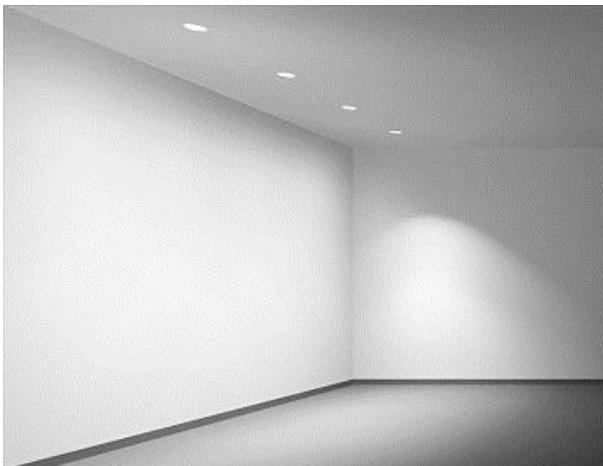
Una nueva filosofía de iluminación, que ya no se interesa exclusivamente por los aspectos cuantitativos, surge en los Estados Unidos de América después de la Segunda Guerra Mundial. Entre sus pioneros hay que nombrar especialmente a Richard Kelly, quien reúne en un concepto unificado las sugerencias existentes procedentes de la psicología perceptiva y del alumbrado escénico.



Figura 2.20 Richard Kelly.

Kelly se desentiende del dato de una iluminancia uniforme como criterio central de la planificación de iluminación. Sustituye la cuestión de la cantidad de luz por la de las calidades individuales de la luz, después de una serie de funciones de la iluminación, que están centradas hacia el observador perceptor.

Kelly distingue tres funciones básicas: ambient light (iluminación general), focal glow (iluminación localizada) y play of brilliance (iluminación suplementaria).



Ambient light corresponde aproximadamente a la hasta entonces usual idea cuantitativa de la luz. Se facilita una iluminación básica, que es suficiente para la percepción de las tareas visuales dadas: la percepción de objetos y estructuras de edificios, la orientación en un entorno o la orientación en movimiento.

Figura 2.21 Luz ambient light.

Focal glow va más allá de esta iluminación básica y tiene en cuenta las necesidades del hombre perceptor en el entorno correspondiente. A través de la luz para mirar se destacan conscientemente determinadas informaciones de la iluminación general; zonas significativas se acentúan, mientras que lo menos importante queda en segundo término.



A diferencia de lo que ocurre con la iluminación uniforme, se estructura el entorno visual, que se puede entender de modo rápido y unívoco. Adicionalmente se puede orientar la mirada del observador hacia determinados objetos, de modo que una iluminación focal no sólo aporta algo para la orientación, sino que también puede ser útil en la presentación de mercancías y complementos estéticos.

Figura 2.22 Luz focal glow.

Play of brilliance tiene en cuenta el hecho de que la luz no sólo ilumina objetos y destaca informaciones, sino que también puede convertirse en objeto de contemplación, en una fuente de información. En esta tercera función la propia luz aporta algo al efecto estético de un entorno; desde el reflejo de una sencilla llama de vela hasta una escultura luminosa se puede dar vida y ambiente a un espacio representativo mediante luz para contemplar.



Mediante estas tres categorías fundamentales de la iluminación se ha creado un efectivo tramado que posibilita una iluminación que hace justicia a la arquitectura iluminada y a los objetos de un entorno, así como a las necesidades del hombre perceptor.

Figura 2.23 Luz play of brilliance.

Partiendo de los Estados Unidos de América, la planificación de iluminación se transforma poco a poco de una disciplina puramente técnica a una disciplina equitativa e indispensable en el proceso de la configuración arquitectónica; por lo menos para el área de grandes obras representativas se puede mientras tanto considerar la colaboración de un luminotécnico competente como algo normal.

### 2.6.2 Luminotecnia y planificación de iluminación

Con las exigencias a la capacidad de la planificación de iluminación crecen también las exigencias a los instrumentos utilizados; una iluminación diferenciada requiere luminarias especializadas, que se adaptan a cada cometido según sus características.

Así, la iluminación uniforme de una superficie de pared exige luminarias completamente distintas a las que requiere la acentuación de diferentes objetos, y la iluminación constante de un foyer requiere otras luminarias que la iluminación variable de un espacio de usos múltiples o una sala de exposiciones.



Entre el desarrollo de las posibilidades técnicas y la aplicación de lo proyectado se da una interacción, en la que las necesidades proyectadas promueven nuevas formas de luminarias, pero por otro lado también el perfeccionamiento en lámparas y luminarias descubre nuevos ámbitos a la planificación.

Figura 2.24 Foyer iluminado.

Por eso los nuevos desarrollos luminotécnicos sirven sobre todo para la diferenciación espacial y la flexibilización de la iluminación. Aquí hay que nombrar ante todo el relevo de las luminarias de radiación libre para lámparas incandescentes y fluorescentes por numerosas luminarias reflectoras especializadas, que posibilitan una iluminación orientada y adaptada en cada caso a la finalidad de distintas zonas y objetos, desde la iluminación uniforme de grandes superficies mediante bañadores de pared o de techo, hasta la acentuación de una zona exactamente circunscrita mediante proyectores de contorno.



Otras posibilidades para la planificación de iluminación resultan del desarrollo del riel electrificado, que permite una configuración variable de las instalaciones de iluminación y la posibilidad de adaptarse a las respectivas necesidades en utilizaciones alternativas.

Figura 2.25 Riel electrificado.

Más recientes que los avances en la diferenciación espacial de la iluminación son los nuevos desarrollos en el ámbito de la diferenciación temporal, la luz programada. Mediante instalaciones compactas de control es posible orientar instalaciones luminosas hacia una sola situación de aplicación y definir diferentes escenas de luz.

Cada escena de luz se ha adaptado a las exigencias de una situación espacial las diferentes condiciones de un discurso realizado desde un estrado o una conferencia con diapositivas, pero también a condiciones variables del entorno, como la cambiante intensidad de la luz diurna o la hora.

La luz programada resulta por ello como una consecuencia lógica de la diferenciación espacial. Permite la utilización total de las posibilidades existentes de una instalación de iluminación, una transición simultánea entre las distintas escenas de luz que no sería posible con el costoso control manual.



En la actualidad, se crean sobre todo innovaciones luminotécnicas en el campo de las fuentes de luz compactas. Para el área de las lámparas incandescentes podemos citar la lámpara halógena incandescente, que por el buen enfoque y su luz brillante proporciona nuevos impulsos a la iluminación representativa.

Figura 2.26 Lámpara halógena incandescente.

En el caso de las lámparas de descarga se consiguen propiedades parecidas mediante las lámparas de halogenuros metálicos; así, la luz orientada también puede aplicarse eficazmente desde grandes distancias.

Como tercer desarrollo innovador se debe nombrar la lámpara fluorescente compacta, que dispone de las ventajas del tubo fluorescente, pero con un volumen

más pequeño, permitiendo de este modo un control óptico mejorado, por ejemplo en los especialmente económicos Downlights fluorescentes.



Figura 2.27 Downlights fluorescentes.

Aquí aún se ponen más instrumentos a disposición de la planificación de iluminación, que pueden utilizarse para una iluminación diferenciada y adaptada a las necesidades del hombre perceptor. También para el futuro se puede esperar que los avances de la planificación de iluminación partan del desarrollo continuado de lámparas y luminarias, pero sobre todo del consecuente aprovechamiento de una planificación cualitativamente orientada.



Figura 2.28 Iluminación laser.

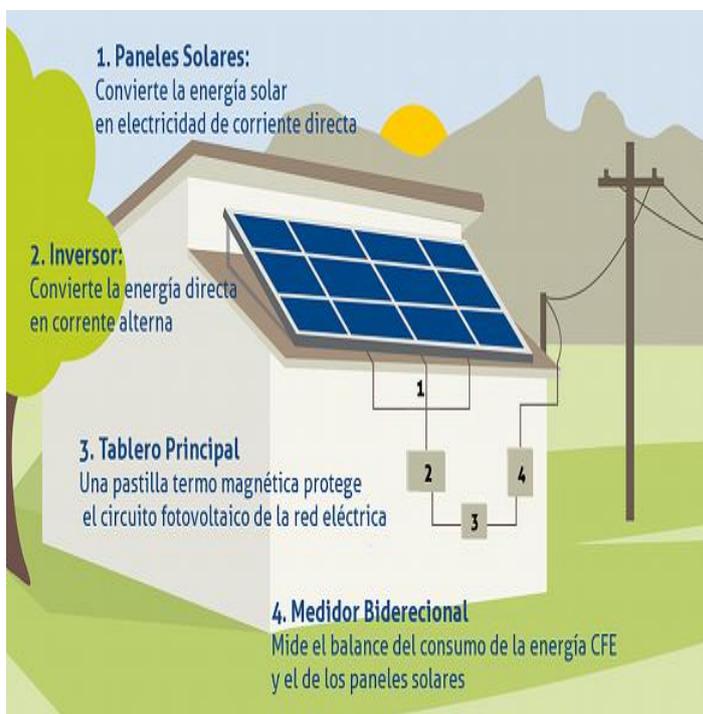
Las soluciones exóticas por ejemplo en el campo de la iluminación por láser o por grandes sistemas reflectores quedarán más bien como apariciones sueltas y no tendrán cabida en la práctica de planificación en general.

Aunado a ello con la introducción de las celdas fotovoltaicas al sistema de iluminación ya sea en conjunto o por separado de un sistema eléctrico complejo se obtienen bastantes beneficios ya sea en el instante o a futuro.

Tomando en cuenta que un sistema de iluminación puede estar activo 24 horas y que este mismo sistema puede tener tiempos críticos en los cuales su demanda aumente y con ello el costo de operación la integración de un sistema de celdas fotovoltaicas amortigua este gasto.

También con las nuevas tecnologías en luminarias se obtienen beneficios ya que están diseñadas para un menor consumo eléctrico y cuyo tiempo de vida es 10 veces mayor a tecnologías pasadas.

Estas situaciones conjuntas hacen ver que el utilizar una planificación adecuada de la luminotecnica y las celdas fotovoltaicas favorecen tanto al medio ambiente como al bolsillo.



Es por ello que es importante tener en cuenta que tipo de iluminación es el que se necesita para la actividad en particular conocer detalles como tiempo de operación, horas críticas, descansos y basándose en este dato es de la misma importancia la celda fotovoltaica empleada para este trabajo, ya que debe cubrir perfectamente las necesidades requeridas.

Figura 2.29 Diagrama de conexión de la celda fotovoltaica.

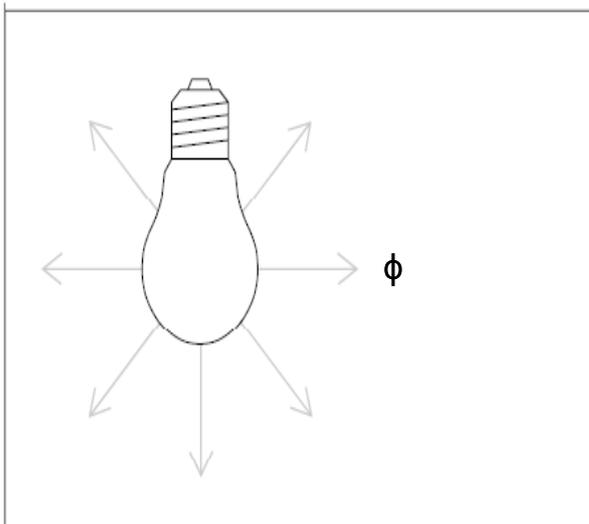
### 3.1 Unidades de iluminación

En la luminotecnia se utilizan una serie de medidas para poder presentar las propiedades de fuentes de luz o su rendimiento luminoso de modo cuantitativo.

#### 3.1.1 Flujo luminoso

El flujo luminoso describe toda la potencia de luz dada de una fuente luminosa. Fundamentalmente, se podría registrar esta potencia de radiación como energía dada en la unidad vatio o watt (W).

No obstante, el efecto óptico de una fuente luminosa no se describe acertadamente de este modo, ya que la radiación se registra sin distinción por todo el margen de frecuencias y por ello no se tiene en cuenta la diferente sensibilidad espectral del ojo. Mediante la inclusión de la sensibilidad espectral ocular resulta la medida lumen (lm).



Un flujo radiante dado dentro del valor máximo de la sensibilidad espectral ocular (fotópica, 555 nanómetros; nm) de 1 W produce un flujo luminoso de 683 lm. Por el contrario, el mismo flujo radiante en márgenes de frecuencia de menor sensibilidad, produce, unos flujos luminosos correspondientemente más pequeños.

Figura 3.1 El flujo luminoso  $\phi$  es una medida para la potencia de luz de una fuente luminosa.

### 3.1.2 Eficacia luminosa

La eficacia luminosa describe el grado de acción de un iluminante. Se expresa mediante la relación del flujo luminoso dado en lumen y la potencia empleada en vatios. Como se indica en la fórmula 3.1

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad \dots \text{ fórmula 3.1}$$

El máximo valor teóricamente alcanzable con total conversión de la energía en luz visible sería 683 lm/W. Las eficacias luminosas reales varían según el medio de luz, pero siempre quedan muy por debajo de este valor ideal.

$$[\eta] = \frac{\text{lm}}{\text{W}} \quad \dots \text{ dimensionamiento de la formula 3.1}$$

Formula de la eficacia luminosa, donde:

$\eta$  = eficacia luminosa

$\Phi$  = flujo luminoso

$P$  = potencia

### 3.1.3 Cantidad de luz

Se denomina cantidad de luz el producto de tiempo por flujo luminoso dado; la cantidad de luz registra, por tanto, la energía lumínica dada en un espacio de tiempo (h). Por regla general, esta cantidad de luz se indica en (lm x h). Como se indica en la fórmula 3.2

$$Q = \Phi \cdot t \quad \dots \text{ formula 3.2}$$

$$[Q] = \text{lm} \cdot \text{h} \quad \dots \text{ dimensionamiento de la formula 3.2}$$

Formula de cantidad de luz, donde:

$Q$  = cantidad de luz

$\Phi$  = flujo luminoso

$t$  = tiempo

### 3.1.4 Intensidad luminosa

Una fuente luminosa puntual e ideal radia su flujo luminoso de manera uniforme en todas las direcciones del espacio, su intensidad luminosa es en todas direcciones la misma. Como se indica en la fórmula 3.3

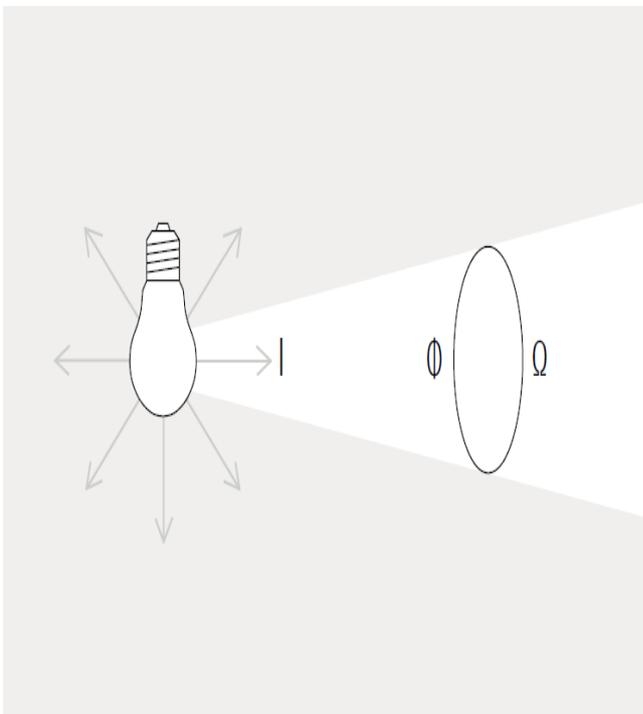
$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad \dots \text{ formula 3.3}$$

En la práctica, no obstante, siempre se da una distribución espacial irregular del flujo luminoso, que en parte es condicionada por la disposición de los medios de luz y en parte originada por la conducción consciente de la luz.

$$[I] = \frac{\text{lm}}{\text{sr}} \quad \dots \text{ dimensionamiento de la formula 3.3}$$

Por lo tanto, es conveniente indicar una medida para la distribución espacial del flujo luminoso, es decir, la intensidad luminosa de la luz.

$$\frac{\text{lm}}{\text{sr}} = \text{Candela (cd)} \quad \dots \text{ unidad de medida}$$

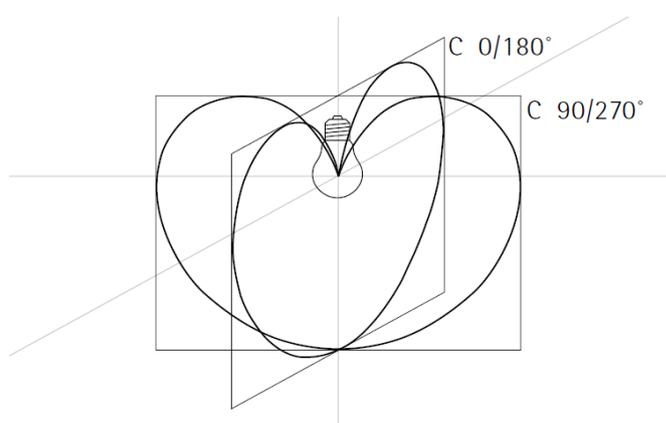


La candela como unidad de la intensidad luminosa es la única unidad base de la luminotecnia, de la cual se derivan todas las demás medidas luminotécnicas. La candela se definía originalmente por la intensidad luminosa de una vela normalizada, más tarde sirvió como norma el polvo de torio, que con la temperatura solidificaba el platino; desde 1979, se define la candela por una fuente radiante, que radia con una frecuencia de 540. 1012 Hz 1/683 W por estereorradián.

Figura 3.2 La intensidad luminosa  $I$  es una medida para el flujo luminoso  $\Phi$  dada por ángulo  $\Omega$ .

La distribución espacial de la intensidad luminosa de una fuente de luz da una superficie de distribución de intensidad luminosa tridimensional como gráfica ver figura 3.3. La sección por este cuerpo de distribución de intensidad luminosa produce la curva de distribución de intensidad luminosa, que describe la distribución de intensidad luminosa en un nivel.

La intensidad luminosa se anota con ello normalmente en un sistema de coordenadas polares como función del ángulo de irradiación. Para poder comparar directamente la distribución de la intensidad luminosa de diferentes fuentes de luz, las indicaciones se refieren cada vez a 1000 lm del flujo luminoso.



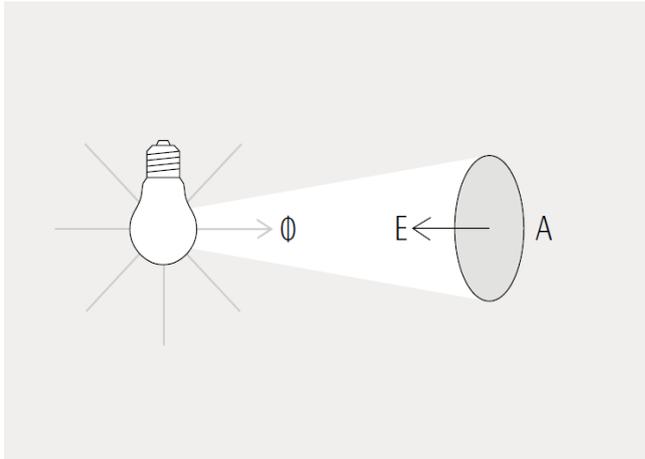
En caso de las luminarias simétricas de rotación, es suficiente con una sola curva de distribución de intensidad luminosa para describir la luminaria; las luminarias simétricas de eje necesitan dos curvas, que normalmente se representan en un solo diagrama.

Figura 3.3 Curva de distribución de intensidad luminosa.

Para luminarias de haz intensivo, por ejemplo proyectores para la escena, no es suficiente la exactitud del diagrama de coordenadas polares, de modo que aquí es más usual una presentación en el sistema de coordenadas cartesianas.

### 3.1.5 Iluminancia

La iluminancia es una medida para la densidad del flujo luminoso. Se ha definido como la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de la misma. La cual su unidad de medida son los luxes (lx).



La iluminancia no está sujeta a una superficie real, se puede determinar en cualquier lugar del espacio, y puede derivar de la intensidad luminosa. La iluminancia, además, disminuye con el cuadrado de la distancia desde la fuente de luz (ley fotométrica de distancia).

Figura 3.4 Iluminancia E como medida para el flujo luminoso que incide por unidad de superficie A.

### 3.1.6 Exposición luminosa

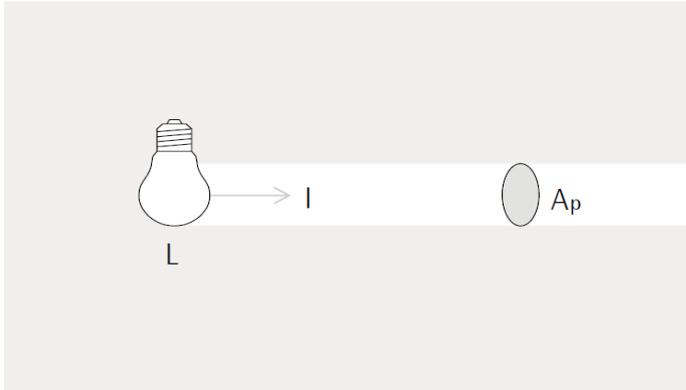
Como exposición luminosa se entiende el producto de la iluminancia y la duración de la exposición luminosa con la que se ilumina una superficie. La exposición luminosa juega sobre todo un papel en el cálculo de la carga luminosa sobre objetos expuestos, por ejemplo en museos.

### 3.1.7 Luminancia

Mientras la iluminancia registra la potencia de luz que cae sobre una superficie, la luminancia describe la luz que procede de esta superficie. Esta luz, sin embargo, puede partir por sí misma de esta extensión (por ejemplo, con una luminancia de lámparas y luminarias).

Aquí la luminancia se define como la relación de la intensidad luminosa y la superficie proyectada verticalmente a la dirección de irradiación.

No obstante, la luz también puede ser reflejada o transmitida por la superficie.

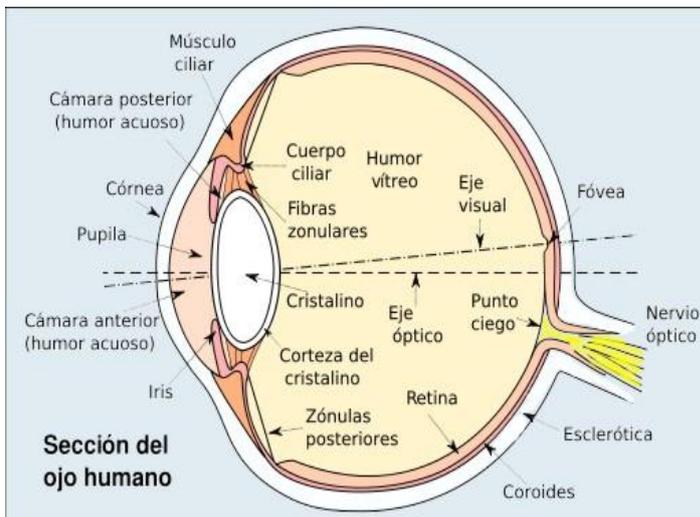


Para materiales de reflexión difusa (mates) y para los de transmisión difusa (opacos), se puede calcular la luminancia desde la iluminancia y la reflectancia o transmitancia, respectivamente.

Figura 3.5 La iluminancia  $L$  de una superficie autoluminosa resulta de la proporción entre intensidad luminosa  $I$  y su superficie aparente  $A_p$ .

Con ello, la luminancia constituye la base de la claridad percibida; la sensación real de claridad, no obstante, aún queda bajo la influencia del estado de adaptación del ojo, de las proporciones de contraste del entorno y del contenido de información de la superficie vista.

### 3.2 Fisiología del ojo



Punto de partida en este capítulo es la reflexión según la cual para la descripción de la percepción visual del hombre no es suficiente con representar el ojo como sistema óptico.

Figura 3.6 Sección del ojo.

El resultado en sí de la percepción no se encuentra en la imagen del entorno sobre la retina, sino en la interpretación de esta imagen; en la diferenciación entre objetos con propiedades constantes y la variabilidad de su entorno.

A pesar de esta preferencia en la transformación antes de la imagen, no se debe ignorar el ojo y sus cualidades; además de la psicología, por naturaleza también la fisiología del ojo resulta ser un factor esencial de la percepción.

El ojo es, ante todo, un sistema óptico para la reproducción de objetos sobre la retina. Más interesante que este sistema óptico, es la superficie sobre la cual se desarrolla la imagen: la retina.

En esta capa se produce la conversión de luminancias en estímulos nerviosos; la retina, por tanto, debe poseer receptores sensibles a la luz para posibilitar la elevada resolución de la imagen visual.

Observándolo con más atención se muestra que estos receptores no están dispuestos simétricamente; la retina tiene una estructura complicada. En primer lugar, hay que nombrar la existencia de dos tipos de receptores diferentes, los conos y los bastoncillos. Tampoco la distribución espacial es uniforme.

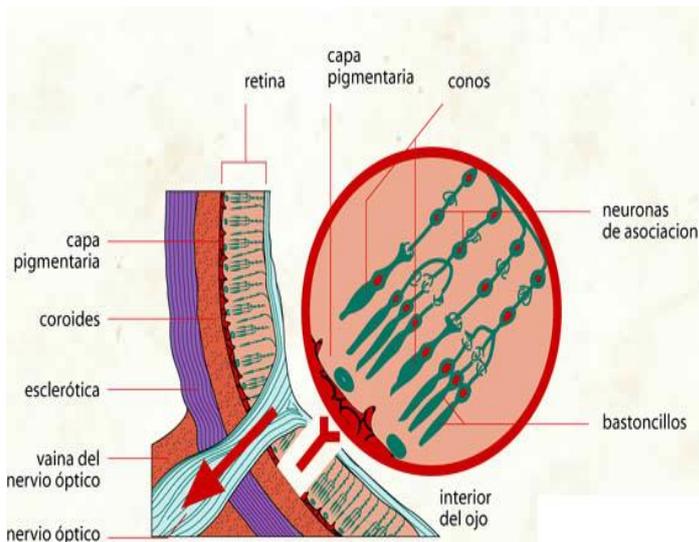


Figura 3.7 Estructuras de la parte posterior del ojo.

Sólo en un punto, el llamado punto ciego, no hay receptores, debido a que allí desemboca el nervio óptico a la retina. Por otro lado, existe también una zona con una densidad receptora muy elevada, un área denominada fovea, que se encuentra en el foco de la lente.

En esta zona central se encuentra una cantidad extremadamente elevada de conos, mientras que la densidad de conos hacia la periferia disminuye considerablemente.

Allí, en cambio, se encuentran los bastoncillos, inexistentes en la fovea. La razón para esta disposición de diferentes tipos de receptores se encuentra en la existencia de dos sistemas visuales en el ojo.

El histórico evolutivamente más antiguo de estos sistemas está formado por los bastoncillos. Sus propiedades especiales consisten en una sensibilidad luminosa muy elevada y una gran capacidad perceptiva para los movimientos por todo el campo visual.

Por otro lado, mediante los bastoncillos no es posible ver en color; la precisión de la vista es baja, y no se pueden fijar objetos, es decir, observarlos en el centro del campo visual más detenidamente.

Debido a la gran sensibilidad a la luz, el sistema de bastoncillos se activa para ver de noche por debajo de aproximadamente 1 lux; las singularidades de ver de noche sobre todo la desaparición de colores, la baja precisión visual y la mejor visibilidad de objetos poco luminosos en la periferia del campo visual se explican por las propiedades del sistema de bastoncillos.

El segundo tipo de receptor, los conos, forma un sistema con diferentes propiedades que determina la visión con mayores intensidades luminosas, es decir, durante el día o con iluminación artificial.

El sistema de conos dispone de una sensibilidad luminosa baja y está sobre todo concentrado en el área central alrededor de la fovea. Pero posibilita ver colores, teniendo también una gran precisión visual al observar objetos, que son fijados, es decir, su imagen cae en la fovea. Contrariamente a como se ve con bastoncillos, no se percibe todo el campo visual de modo uniforme; el punto esencial de la percepción se encuentra en su centro. No obstante, la periferia del campo visual no está totalmente exenta de influencia; si allí se perciben fenómenos interesantes, la mirada se dirige automáticamente hacia ese punto, que luego se retrata y percibe con más exactitud en la fovea.

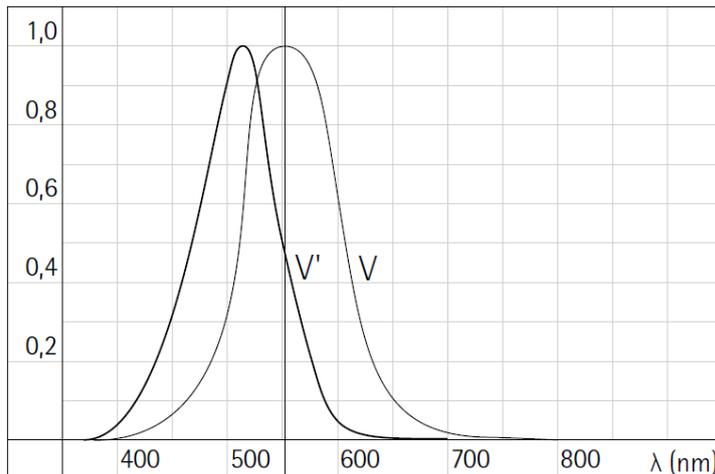


Figura 3.8 Sensibilidad relativa a la luz de conos V y bastoncillos V' en función de la longitud de onda  $\lambda$ .

Un motivo esencial para este desplazamiento de la dirección visual es, además de movimientos que se presentan y colores o motivos llamativos, la existencia de elevadas luminancias, es decir, la mirada y la atención del hombre se dejan dirigir por la luz.

Una de las facultades más notables del ojo es su capacidad de adaptarse a diferentes situaciones de iluminación; percibimos nuestro entorno tanto bajo la luz de la luna como bajo la del sol, con diferencias de iluminancia del orden de  $10^5$ .

Esta facultad del ojo se extiende incluso sobre un campo aún mayor: una estrella en el cielo nocturno, muy poco luminosa, se puede percibir, aunque en el ojo sólo alcanza una iluminancia de  $10^{-12}$  lux.

Esta capacidad de adaptación se origina sólo por una parte muy pequeña mediante la pupila, que regula la incidencia de la luz aproximadamente a una escala de 1:16; la mayor parte de la capacidad de adaptación la aporta la retina.

Aquí se cubren por el sistema de bastoncillos y conos campos de distinta intensidad luminosa; el sistema de bastoncillos es efectivo en el campo de la visión nocturna (visión escotópica), los conos posibilitan la visión diurna (visión fotópica), mientras que en el período de transición de la visión crepuscular (visión mesópica) ambos sistemas receptores están activados.

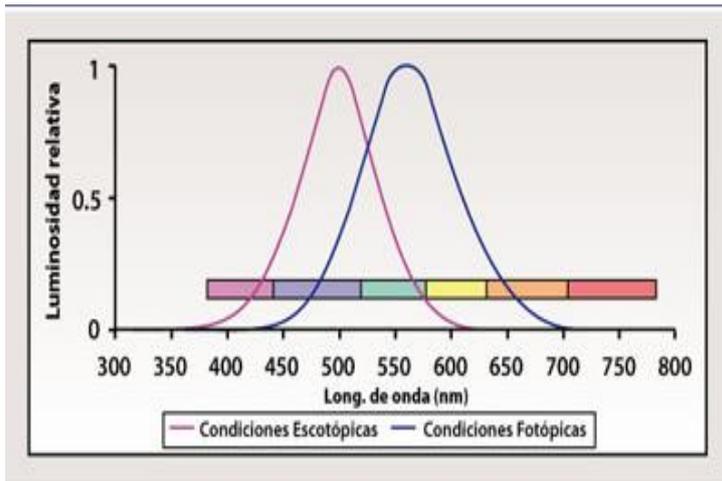


Figura 3.9 Curva de eficiencia luminosa.

Aunque la visión es posible sobre un campo muy grande de luminancias, existen, para la percepción de contrastes en cada una de las distintas situaciones de iluminación, claramente limitaciones más estrechas.

La razón estriba en que el ojo no puede cubrir de una vez todo el campo de luminancias visibles, sino que en cada caso se tiene que adaptar a una determinada parte parcial más estrecha, donde entonces se hace posible una percepción diferenciada.

Objetos que para un estado determinado de adaptación disponen de una luminancia demasiado elevada deslumbran, o sea, tienen un efecto indiferenciadamente claro; objetos con luminancias demasiado bajas, en cambio, tienen un efecto indiferenciadamente oscuro.

El ojo, sin duda, puede adaptarse a nuevos contrastes; para ello sólo elige un nuevo campo parcial igualmente limitado. Este proceso de adaptación necesita adicionalmente tiempo; la nueva adaptación a situaciones más luminosas se desarrolla relativamente rápido, mientras que la adaptación a la oscuridad puede necesitar más tiempo.

Ejemplos evidentes son las sensaciones de deslumbramiento que se producen con el cambio al salir de una sala oscura (por ejemplo, de un cine) a la luz del día o la ceguera transitoria al entrar en un espacio con una mínima iluminación, respectivamente.



Figura 3.10 Deslumbramiento

Tanto el hecho de que los contrastes de luminancia sólo pueden ser conformados por el ojo en un cierto volumen, como el hecho de que la adaptación a un nuevo nivel luminoso necesita tiempo tienen consecuencias sobre la planificación de iluminación; así, por ejemplo, en la planificación consciente de la escala de luminancias en un espacio o en la adaptación de niveles luminosos en áreas vecinas.

### 3.3 Percepción

La mayor parte de la información sobre el entorno le llega al hombre a través de los ojos. Para ello, la luz no sólo es indispensable y medio de la vista, sino que por su intensidad, su distribución y sus cualidades crea condiciones específicas que influyen sobre nuestra percepción. En definitiva, la planificación de iluminación es la planificación del entorno visual del hombre; su objetivo es la creación de condiciones de percepción, que posibiliten trabajos efectivos, una orientación segura, así como su efecto estético.

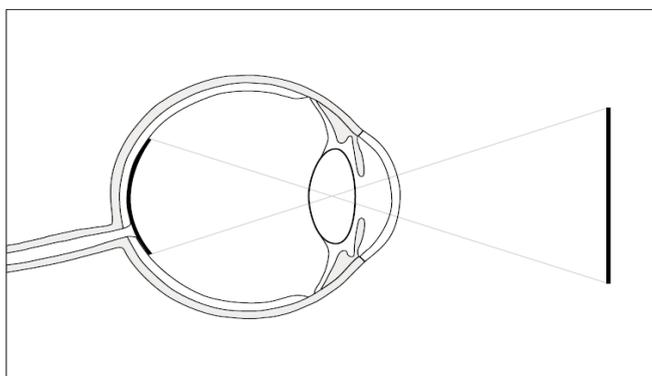
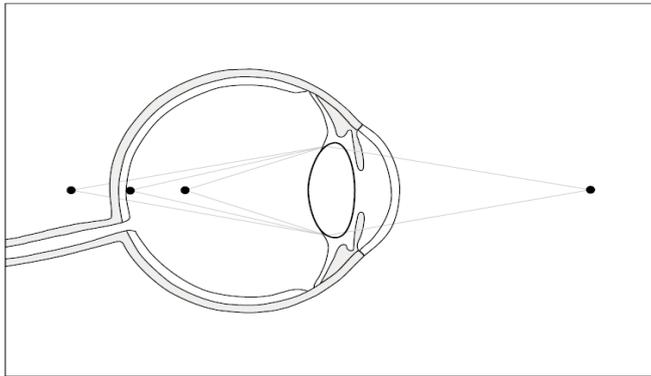


Figura 3.11 Aberración esférica, objetos proyectados quedan deformados por la curvatura de la retina.

Las cualidades fisiológicas de una situación luminosa se pueden calcular y medir, pero al final siempre decide el efecto real sobre el hombre: la percepción subjetiva valora la bondad de un concepto de iluminación.

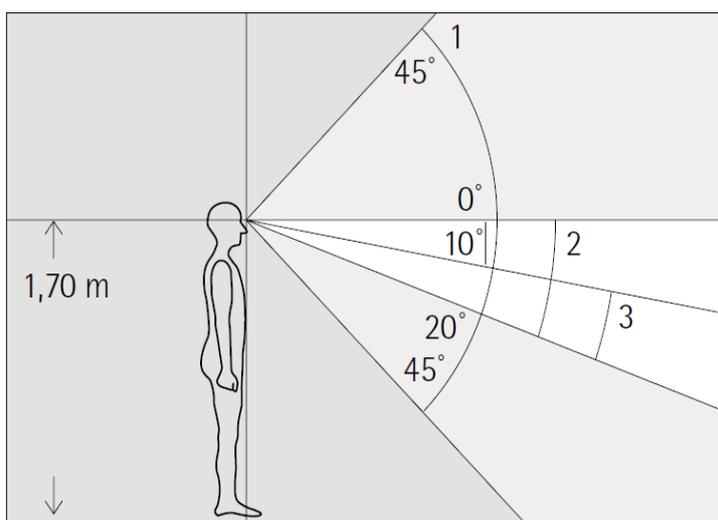


La planificación de iluminación, por tanto, no se puede limitar sólo a la realización de principios técnicos, sino que también debe incluir reflexiones acerca de la percepción.

Figura 3.12 Aberración cromática, imagen borrosa por la refracción diferente de los colores espectrales.

### 3.4 Objetos de percepción

Al describir los mecanismos del proceso de percepción y sus condiciones fisiológicas se mencionó sólo al margen un tercer campo: los contenidos de la percepción. Lo que se ha visto hasta ahora han sido objetos y formas de modo general o ejemplos escogidos mediante los cuales se hacía evidente un determinado mecanismo. Pero la percepción no percibe indistintamente cada objeto en el campo visual; la sola preferencia por el campo foveal, la fijación de pequeños, cambiantes detalles, demuestra que el proceso de percepción escoge a propósito determinados campos.



Esta elección es inevitable, debido a que el cerebro no es capaz de transformar toda la información visual del campo de vista; no obstante, también resulta oportuno, porque no cada información que se puede recoger del entorno es de interés para aquel que lo percibe.

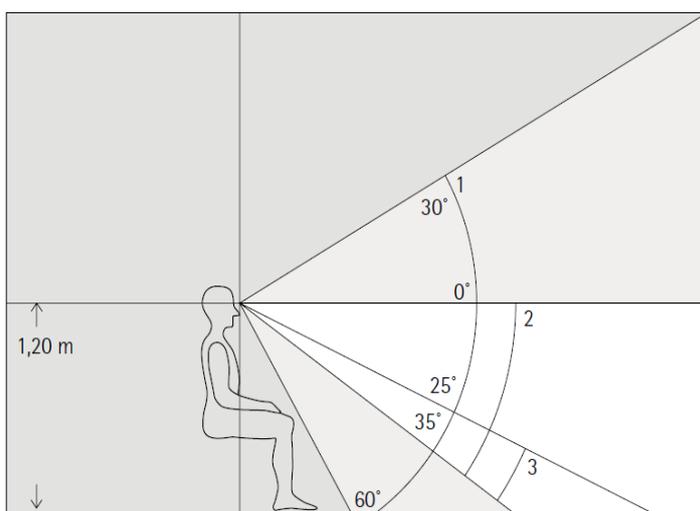
Figura 3.13 Espacio visual (1), espacio visual preferente (2) y campo de visión óptimo (3) de un hombre de pie.

Cada intento de describir con sentido la percepción visual también debe ocuparse con los criterios según los cuales se realiza la elección de lo percibido. Un primer campo, donde se perciben a propósito las informaciones, resulta de la correspondiente actividad del perceptor.

Esta actividad puede ser un determinado trabajo, el movimiento o cualquier otra función que se necesita para las informaciones visuales. Las informaciones recibidas se diferencian según el tipo de actividad; un conductor de coches tiene otras tareas visuales que un peatón; un mecánico de precisión emplea otras informaciones que un trabajador de almacén.

Característica de una tarea visual puede ser, por ejemplo, el tamaño o la situación espacial; da lo mismo si la tarea visual se mueve o no, si se deben registrar pequeños detalles o pocos contrastes, si colores o estructuras de superficie son sus propiedades esenciales.

En cambio, estas características típicas permiten desarrollar condiciones de iluminación, bajo las cuales se puede percibir óptimamente la tarea visual; se pueden definir procedimientos de iluminación que optimizan la realización de determinadas actividades.

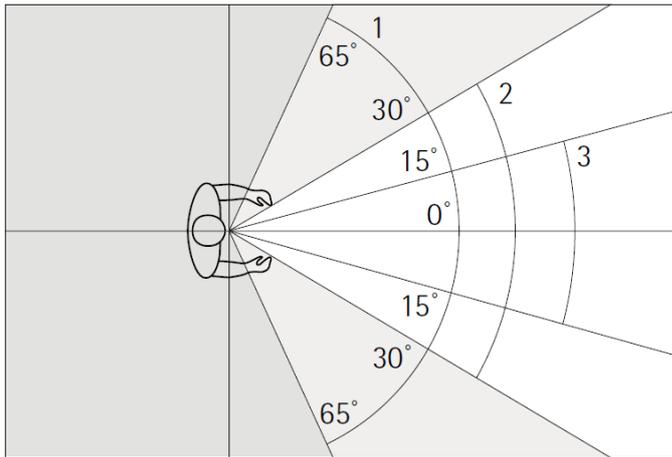


Sobre todo en los campos laboral y de tráfico se han realizado comprobaciones para numerosas actividades y las de allí derivadas óptimas condiciones de percepción; éstas forman el fundamento de las normas y recomendaciones para la iluminación en lugares de trabajo y pasos de circulación.

Figura 3.14 Espacio visual (1), espacio visual preferente (2) y campo de visión óptimo (3) de un hombre sentado.

Además de la necesidad específica de formación que resulta de una determinada actividad, existe otra necesidad fundamental de información visual.

Esta necesidad informativa es independiente de determinadas situaciones, resulta de la necesidad biológica del hombre de informarse sobre el entorno.



En tanto que a través de la creación de óptimas condiciones de percepción para determinadas actividades se posibilita sobre todo un modo efectivo de trabajar, la situación subjetiva en un entorno visual de la satisfacción depende de la necesidad informativa biológicamente condicionada.

Figura 3.15 Espacio visual (1), espacio visual preferente (2) y campo de visión óptimo (3) vista superior.

Una gran parte de la información que se precisa resulta de la necesidad de seguridad del hombre. Para poder evaluar posibles peligros, es imprescindible comprender un entorno por su estructura.

Esto se refiere tanto a la orientación el conocimiento sobre la propia situación, los caminos y las posibles metas como al conocimiento sobre las propiedades del entorno. Estos conocimientos o la ausencia de estas informaciones determinan nuestro bienestar y comportamiento.

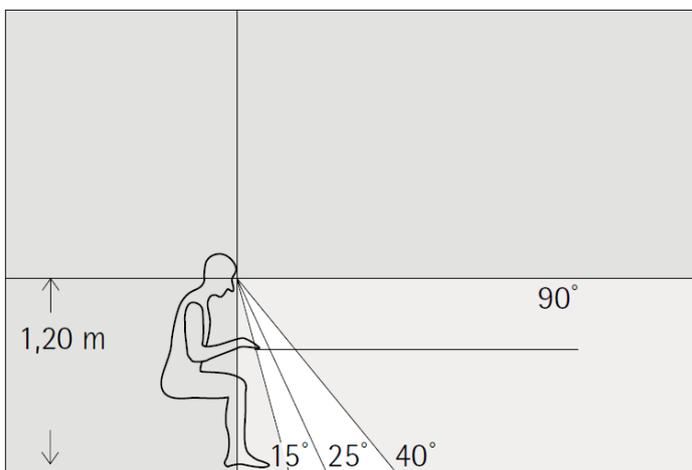
Causan la atención inquieta y tensa en situaciones desconocidas o peligrosas, pero también proporcionan la tranquilidad y la relajación en un ambiente conocido y seguro. Luego se necesitan más informaciones sobre el medio ambiente para poder adaptar el comportamiento a cada situación.

Esto incluye el conocimiento sobre el tiempo y la hora del día, así como el saber sobre acontecimientos en los alrededores. De no disponer de estas informaciones, por ejemplo en grandes edificios sin ventanas, se experimenta a menudo la situación como algo poco natural y opresivo.

Un tercer campo surge de las necesidades sociales del hombre. En este estadio se deben equilibrar las exigencias que se contradicen mutuamente, después del contacto con otros hombres y un campo privado limitado.

Tanto por las actividades que se deben realizar en un entorno, como por las fundamentales necesidades biológicas, se forman puntos esenciales para el registro de informaciones visuales.

Campos que prometen una información significativa sea por sí solos, sea por la acentuación con ayuda de la luz son percibidos con preferencia; llaman la atención sobre sí. El contenido informativo de un objeto en primer lugar es responsable de su elección como tema de percepción.



Pero más allá de esta circunstancia el contenido informativo también influye sobre el modo en que un objeto es percibido y evaluado. Esto se muestra especialmente evidente en el fenómeno del deslumbramiento.

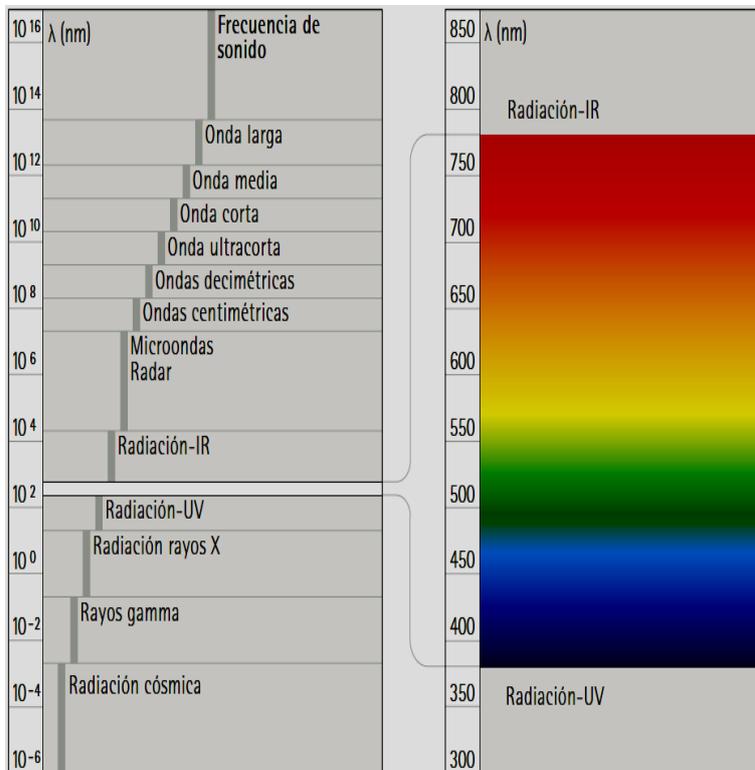
Figura 3.16 Campo visual preferente con tareas visuales horizontales.

### 3.5 Luz y fuentes de luz

La luz, base de todo lo visible, es para el hombre una aparición natural. Claridad, oscuridad y el espectro de colores visibles nos resultan tan familiares que otra percepción en una zona de frecuencia distinta y con sensaciones cromáticas diferentes nos resulta casi inconcebible.

Pero en realidad la luz visible sólo es una pequeña parte del espectro bastante más ancho de las ondas electromagnéticas, que alcanzan desde los rayos cósmicos hasta las ondas radioeléctricas.

Que sea precisamente el área desde 380 hasta 780 nm, la luz visible, la que conforme la base de la visión humana, desde luego no es casualidad. Justo esta área se encuentra relativamente regular como radiación solar a disposición en la Tierra y de este modo puede servir como base fiable de la percepción.



Es decir, el ojo humano aprovecha una de las partes disponibles del espectro de las ondas electromagnéticas para informarse sobre su entorno. Percibe la cantidad y la distribución de la luz, que es irradiada o reflejada por cuerpos, para informarse sobre su existencia o su cualidad, y el color de la luz irradiada para obtener una información adicional sobre estos cuerpos.

Figura 3.17 El campo de radiación visible tiene el fondo claro, comprende desde 380 hasta 780 nm.

El ojo humano se ha adaptado a la única fuente de luz de la que ha dispuesto durante millones de años: el sol. Así, el ojo es lo más sensible en esta área, donde también se encuentra el máximo de la radiación solar, y así también la percepción cromática está sintonizada al espectro continuado de la luz solar.

La primera fuente de luz artificial fue la llama luminiscente del fuego, donde partículas incandescentes de carbono producían una luz que, al igual que la solar, dispone de un espectro continuado.

Durante mucho tiempo la técnica de la producción de luz se basó en este principio, que, desde luego empezando por la antorcha y las astillas de pino, pasando por la candela y la lámpara de aceite, hasta la luz de gas, tuvo un aprovechamiento cada vez más efectivo.

Con la evolución del manguito de incandescencia para el alumbrado de gas en la segunda mitad del siglo XIX, se supera el principio de la llama luminiscente; en su lugar se colocaba una materia, mediante cuyo calentamiento se conseguía dar luz. La llama ya sólo servía para producir la temperatura necesaria.

Casi simultáneamente surgió una competencia para la iluminación de mechas para gas de alumbrado con el desarrollo de las lámparas eléctricas de arco y de incandescencia, a las cuales se añadirían las de descarga a fines del siglo XIX. En los años treinta del siglo XX, ya se había sustituido casi por completo la luz de gas por un surtido de alumbrantes eléctricos, sobre cuyos sistemas de funcionamiento se basan todas las fuentes de luz modernas.

Las fuentes de luz eléctricas se pueden subdividir en dos grupos principales que se distinguen por diferentes procedimientos para convertir la energía eléctrica en luz. Un primer grupo lo constituyen los radiadores térmicos, que abarcan lámparas incandescentes y halógenas incandescentes.

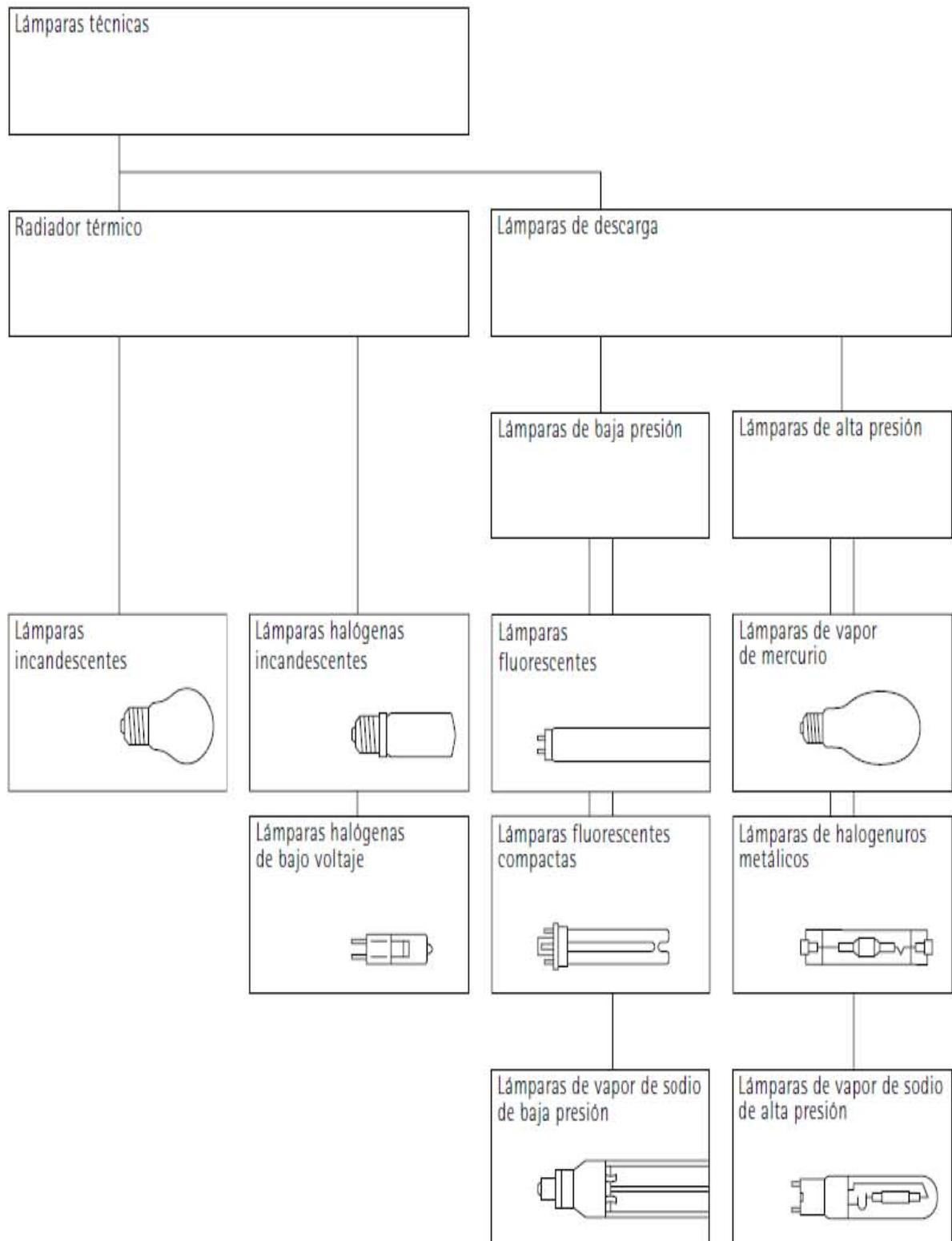
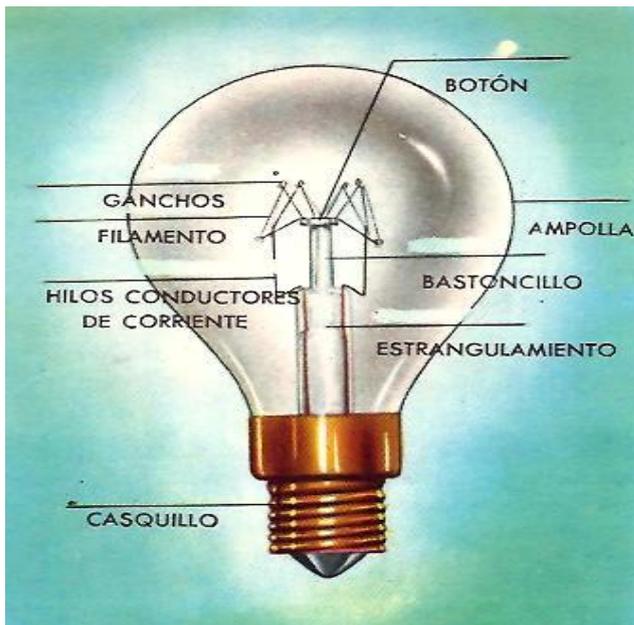


Figura 3.18 Descripción de la clasificación de fuentes luminosas eléctricas según el tipo de producción de luz.

El segundo grupo lo constituyen las lámparas de descarga y abarca un amplio espectro de fuentes luminosas, por ejemplo, todas las formas de lámparas fluorescentes, lámparas de descarga de vapor de mercurio o vapor de sodio, así como lámparas de halogenuros metálicos.

### 3.5.1 Lámparas incandescentes



La lámpara incandescente es un radiador térmico: un filamento de metal empieza a estar incandescente cuando es calentado suficientemente por corriente eléctrica. Con el aumento de temperatura el espectro de la luz irradiada se desplaza al área de longitudes de onda más cortas: la incandescencia roja del filamento se transforma en la luz color blanco cálido de la lámpara incandescente.

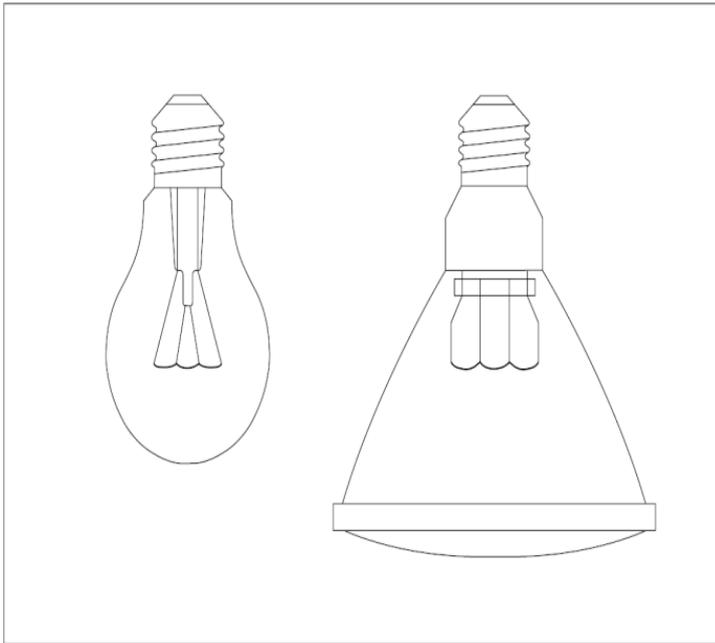
Figura 3.19 Partes del foco.

La temperatura del filamento importa, en este caso, según tipo de lámpara y potencia, hasta 3000 °Kelvin (K); en el caso de las lámparas halógenas incandescentes incluso sobrepasa los 3000 °K.

El máximo de irradiación con estas temperaturas se encuentra aún en la zona infrarroja, de modo que en comparación a la parte visible, emite una radiación infrarroja muy elevada, pero en contrapartida una radiación ultravioleta muy baja.

Otra subida de la temperatura de la lámpara, que originaría el correspondiente aumento del rendimiento luminoso y un color de luz más frío, queda excluida por la ausencia de un material de filamento apropiado.

Como todos los cuerpos sólidos calentados o el gas altamente comprimido del sol, la lámpara incandescente irradia un espectro continuado; la curva de estímulos de la distribución de irradiación espectral, por tanto, está cerrada y no se compone de líneas únicas.



El calentamiento de los filamentos incandescentes se consigue mediante su elevada resistencia eléctrica; la energía eléctrica se convierte en energía de radiación, una parte de la cual es visible como luz. Pero frente a este sencillo principio aún existen considerables problemas prácticos en la construcción de una lámpara incandescente.

Figura 3.20 Lámparas incandescentes con filamento de tungsteno.

Así, son pocos los materiales conductores que disponen de un punto de fusión suficientemente elevado y al mismo tiempo por debajo del punto de fusión de una velocidad de evaporación tan mínima que se pueden utilizar para filamentos incandescentes.

En la práctica, hoy día, para la fabricación de filamentos incandescentes se utiliza casi exclusivamente tungsteno, porque sólo se funde a 3653 °K y dispone de una mínima velocidad de evaporación. El tungsteno se transforma en finos alambres, conformándolos en filamentos dobles o sencillos.

El filamento se encuentra en el interior de una ampolla de vidrio blando, relativamente grande, para poder mantener bajas las pérdidas de luz por residuos, que se originan debido a la evaporación del tungsteno (ennegrecimiento).

Para evitar la oxidación del filamento, con menor potencia de luz la ampolla está evacuada, mientras que con mayor potencia está rellena de nitrógeno o de una mezcla de nitrógeno y gas noble.

El relleno de gas, además, aumenta por su aislamiento térmico la temperatura del filamento, pero al mismo tiempo reduce la evaporación del tungsteno y posibilita mayores potencias de luz o una duración de vida más prolongada, respectivamente.

Como gases nobles sirven sobre todo el argón y el criptón, aunque este último, que sin duda permite una temperatura de servicio más elevada y con ello la potencia de luz, sólo se utiliza en lámparas de aplicaciones especiales dado su elevado precio.

Lo que resulta característico para las lámparas incandescentes es su baja temperatura de color: se siente más cálida que la luz diurna.

El espectro continuado de la lámpara incandescente produce una excelente reproducción cromática.

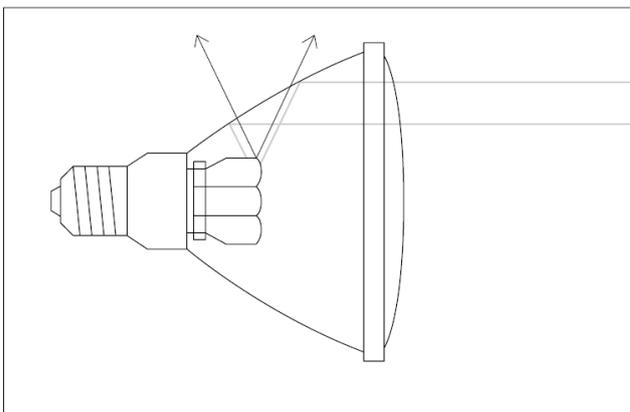


Figura 3.21 Lámpara de vidrio prensado con reflector dicróico de haz frío.

Como fuente de luz puntual con elevada luminancia, la luz de las lámparas incandescentes produce brillo sobre materiales resplandecientes y se puede conducir bien con medios ópticos, de modo que se puede dar tanto el enfoque estrecho de luz acentuada como una iluminación de radiación amplia.

Las lámparas incandescentes pueden regularse sin problemas con dimmer. No necesitan aparatos adicionales para su servicio y pueden funcionar en cualquier situación de encendido. Sin embargo, su eficacia luminosa es más baja y su duración de vida relativamente corta, por lo que ésta depende principalmente de la tensión de servicio.

No obstante, en la actualidad se desarrollan lámparas incandescentes que, por un procedimiento de vapor dicróico de la ampolla de la lámpara, devuelven la parte infrarroja de luz sobre el filamento, consiguiendo así una temperatura de filamento más elevada y una eficacia luminosa un 40 % más alta. Las lámparas incandescentes A (de uso corriente) se pueden adquirir en muchas formas, sus ampollas pueden ser claras, mates u ópalos. Para la aplicación bajo condiciones especiales (en espacios con peligro de explosión, fuertes cargas mecánicas, etc.) y para el campo decorativo se pueden obtener formas especiales.

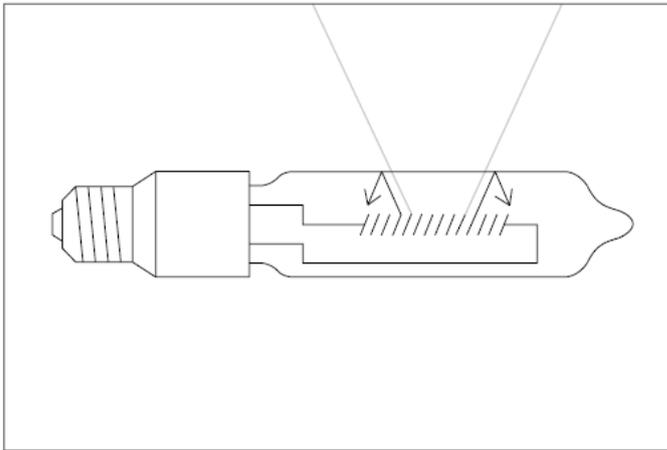


Figura 3.22 Lámpara incandescente con recubrimiento dicróico (*hot mirror*).

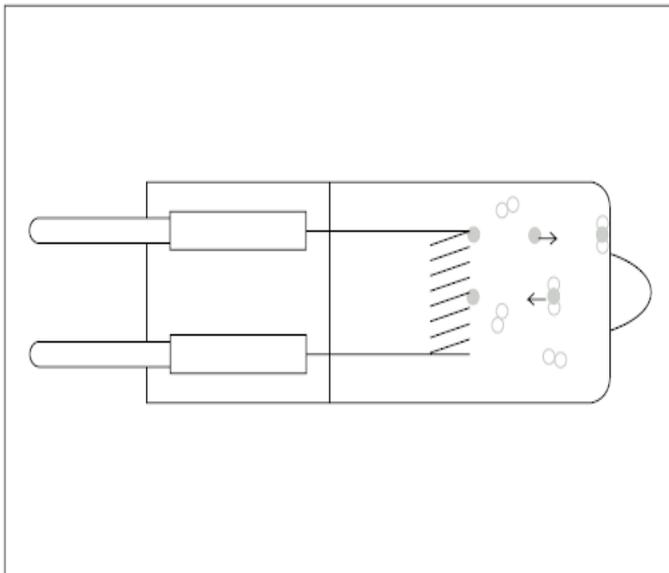
Una segunda forma básica la constituyen las lámparas R (reflectoras). También están sopladas con vidrio blando, pero por su forma y una metalización parcial en su interior, orientan la luz, mientras que en el caso de las lámparas A ésta es irradiada en todas direcciones.

Una tercera forma son las lámparas PAR (reflector parabólico). Están fabricadas en vidrio prensado, para poder alcanzar una gran termo estabilidad y una elevada exactitud de formas; mediante un reflector parabólico se puede lograr un definido ángulo de irradiación.

En un subgrupo de las lámparas PAR, las lámparas de haz frío, se utiliza un selectivo azogamiento dicroico, es decir, reflectante. Reflectores dicroicos reflejan la luz visible, pero dejan pasar una gran parte de la radiación infrarroja, que abandona la lámpara en sentido contrario a la radiación de luz. Así, la carga calorífica sobre objetos iluminados puede reducirse aproximadamente a la mitad.

### 3.5.1.1 Lámparas halógenas incandescentes

Lo que menos se opone a la construcción de potentes lámparas incandescentes es el punto de fusión del tungsteno (que con 3563 °K se encuentra aún relativamente lejos de las aprox. 2800 °K de la temperatura de servicio de las lámparas incandescentes), y lo que más, la creciente velocidad de evaporación de los filamentos por el aumento de temperatura.



El ennegrecimiento de la ampolla de vidrio lleva primero a una menor potencia luminosa y finalmente a que el filamento se funda. Un aumento de la potencia luminosa, por tanto, significa una duración de vida más corta de la lámpara.

Figura 3.23 Separación del halogenuro de tungsteno en el área del filamento.

Una posibilidad técnica para evitar la pérdida de material del filamento es la adición de halógenos para el llenado de gas de la lámpara: el tungsteno evaporado se une con el halógeno en un halogenuro metálico, que con la temperatura en la zona exterior de la lámpara es gaseiforme y de este modo no puede depositarse sobre la ampolla de vidrio.

En el filamento bastante más caliente el halogenuro metálico se vuelve a separar en tungsteno y halógeno y el tungsteno es conducido nuevamente al filamento.

El proceso de formación de halogenuros metálicos, sobre el cual se basa la lámpara halógena incandescente, presupone no obstante una temperatura de la ampolla de la lámpara de más de 250 °C. Esto se consigue mediante una ampolla compacta de vidrio de cuarzo, que envuelve ajustadamente el filamento.

Debido a la forma compacta de la lámpara, se posibilita, junto al aumento de la temperatura, un aumento de la presión del gas, que así reduce la velocidad de evaporación del tungsteno.

Frente a la lámpara incandescente tradicional, la lámpara halógena incandescente da una luz más blanca, consecuencia de la temperatura de empleo de 3000 a 3300 °K, pero su color de luz sigue situado dentro de la tonalidad blanco cálido.

La reproducción cromática es excelente por el espectro continuado. Por su forma compacta, representa una fuente puntual ideal, que permite una orientación particularmente buena de la luz, posibilitando efectos de luz especialmente brillantes.

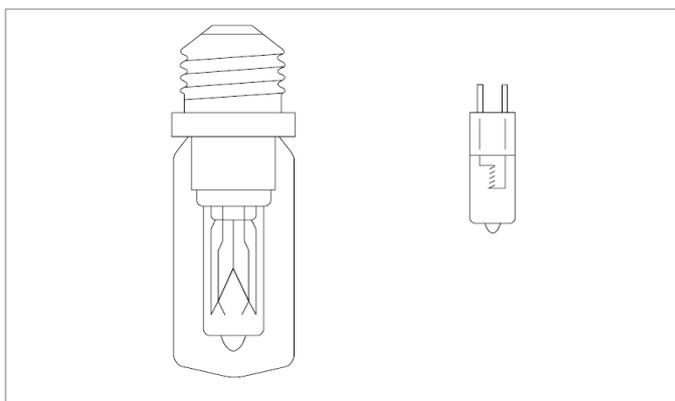


Figura 3.24 Formas de lámparas halógenas incandescentes.

El rendimiento luminoso de estas lámparas sobre todo en el campo del bajo voltaje es superior al de las lámparas incandescentes tradicionales. También en las lámparas halógenas incandescentes se están desarrollando actualmente formas

de ampollas con vapor dicroico, que tienen unos rendimientos de luz considerablemente superiores.

La duración de vida de estas lámparas es superior a la de las tradicionales incandescentes. Las halógenas incandescentes permiten la regulación del flujo luminoso y, al igual que las incandescentes tradicionales, no necesitan equipos adicionales de estabilización; no obstante, las de bajo voltaje sólo funcionan conectadas a un transformador.

En las lámparas con casquillo doble, de proyección y especiales para el área de estudios la disposición de enfoque se encuentra frecuentemente limitada.

Algunas lámparas halógenas incandescentes funcionan con un vidrio protector. Como casi todas las lámparas incandescentes convencionales, se pueden adquirir para el servicio con tensión de red.

Normalmente están provistas de casquillos especiales, pero algunas también tienen casquillo de rosca E27 y adicionalmente una envuelta de vidrio exterior, pudiéndose utilizar como las lámparas incandescentes convencionales. Además de las anteriores, también las halógenas de bajo voltaje ganan cada vez más en importancia.

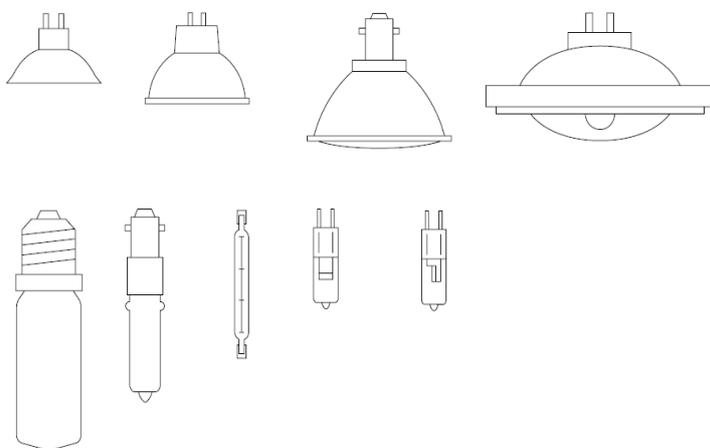


Figura 3.25 Lámparas halógenas incandescentes y halógenas de bajo voltaje.

Las ventajas de esta fuente de luz sobre todo la elevada potencia de luz con medidas más reducidas, que hasta la fecha se aprovechaban sobre todo en los faros de los automóviles, han encontrado paralelamente una amplia aplicación en el campo de la iluminación arquitectónica.

Las reducidas medidas de la lámpara de bajo voltaje posibilitan, por tanto, construcciones de luminarias compactas y un enfoque muy exacto de la luz. Las lámparas halógenas de bajo voltaje se pueden adquirir para distintas tensiones (6/12/ 24 V) y en diferentes formas. También se fabrican lámparas de radiación libre y combinaciones de lámpara y reflector o reflector de haz frío, respectivamente.

### 3.5.2 Lámparas de descarga

A diferencia de lo que ocurre en las lámparas incandescentes, en las lámparas de descarga la luz no se produce por un filamento calentado, sino por la excitación de gases o vapores metálicos. Para ello se produce una tensión entre dos electrodos en un tubo de descarga llenado con vapores metálicos, que originan una corriente de electrones entre los electrodos.

Durante su trayecto por el recipiente de descarga los electrones chocan con átomos de gas, los cuales, con la suficiente velocidad de los electrones, son estimulados para la emisión de radiación.

Para cada tipo de gas es característica una determinada combinación de longitudes de onda emitidas; cada vez es emitida una radiación de uno o varios márgenes estrechos de frecuencias. Si la velocidad de los electrones aumenta más, al chocar los átomos de gas ya no son estimulados, sino ionizados; el átomo de gas es descompuesto en un electrón libre y un ion de carga positiva.

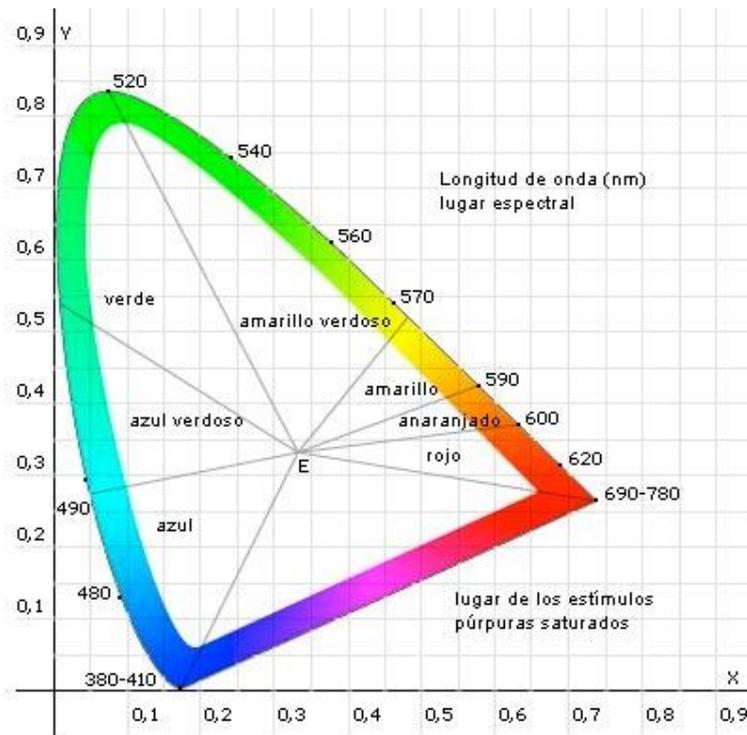


Figura 3.26 Espectro cromático

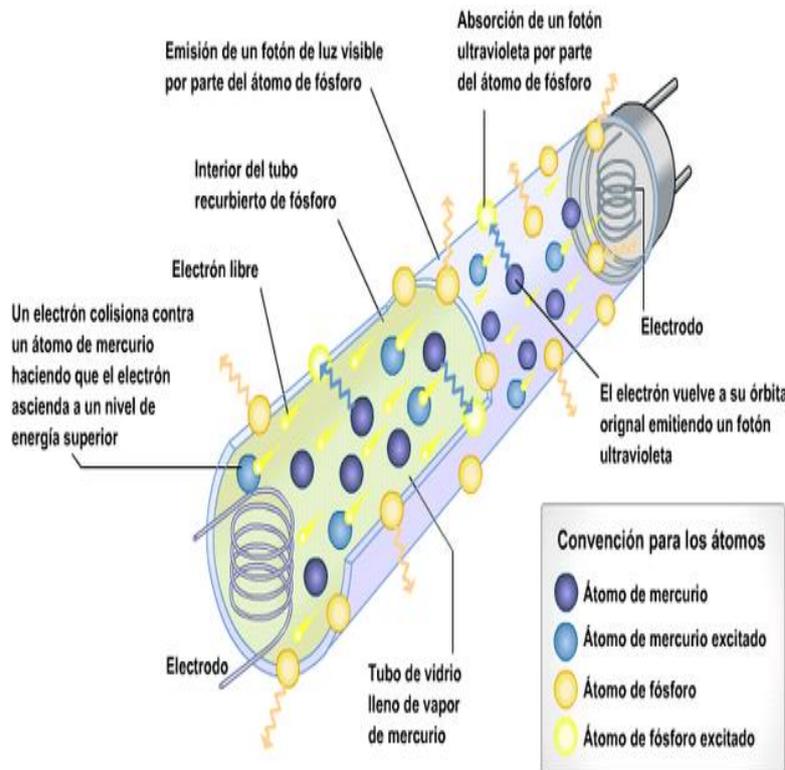
La cantidad de las partículas cargadas eléctricamente y efectivas en el tubo de descarga aumenta progresivamente y produce el correspondiente incremento de radiación. Las lámparas de descarga tienen otras cualidades que las incandescentes. En primer lugar, por el tipo de luz irradiada.

Mientras que en las lámparas incandescentes se emite un espectro continuado, cuyo curso depende casi exclusivamente de la temperatura del filamento, las lámparas de descarga irradian un espectro con distintas rayas características para los gases o vapores metálicos utilizados.

Además, las líneas espectrales irradiadas pueden encontrarse en todas las áreas del espectro, desde la radiación infrarroja y la zona visible hasta la radiación ultravioleta.

Por cantidad y dispersión de las líneas espectrales se obtiene luz con el más variado efecto cromático; mediante diferentes llenados de lámpara se pueden producir de modo dirigido colores de luz y luz blanca de las más diversas temperaturas.

Sobre todo es posible sobrepasar el límite indicado de 3650 K en los radiadores térmicos y producir una luz similar a la diurna con elevadas temperaturas de color. Otro camino para una producción dirigida de colores de luz resulta de la utilización de sustancias luminosas en las paredes interiores del tubo de descarga.



Sobre todo la radiación ultravioleta, que aparece en algunas descargas de gas, es convertida en luz visible por estas sustancias luminosas fluorescentes, donde nuevamente mediante la elección y la mezcla adecuada de materias fluorescentes se pueden producir definidos colores de luz.

Figura 3.27 Excitación de los átomos dentro del tubo.

Incluso por la variación de la presión en el tubo de descarga se pueden modificar las propiedades de una lámpara de descarga: con una presión más alta se amplían las líneas espectrales emitidas, de modo que el espectro se rellena y se acerca a un reparto continuado; por eso se mejora la reproducción cromática y por regla general también la eficacia luminosa de la lámpara.

Además de las diferencias en el tipo de luz producida, existen también diferencias en las condiciones de servicio entre las lámparas incandescentes y las de descarga. Las primeras pueden funcionar sin instalaciones adicionales en la red: inmediatamente después de ser conectadas emiten luz. En cambio, para las lámparas de descarga deben darse condiciones especiales de encendido y servicio.

Para encender una lámpara de descarga es imprescindible que dentro del tubo de descarga fluya la suficiente corriente de electrones. Como quiera que el gas a estimular no está ionizado antes del encendido, es necesario que los electrones estén preparados por unas disposiciones de encendido especiales.

Después del encendido de la lámpara de descarga se produce, por la enorme ionización del gas estimulado, un aumento continuado de corriente en la lámpara, que destruiría la misma en muy poco tiempo. Para evitarlo, hay que limitar esta corriente mediante una reactancia.



Es decir, tanto para el encendido como para el servicio de lámparas de descarga son necesarios elementos adicionales. En algunos casos éstos ya se encuentran integrados en la lámpara, pero por regla general se instalan en la luminaria aparte de la lámpara.

Figura 3.28 Reactancia electrónica.

Comportamiento de encendido y potencia dependen de la temperatura de servicio; esto en parte lleva a construcciones con ampollas de vidrio adicionales. Con frecuencia la lámpara necesita enfriarse algunos minutos después de una interrupción de corriente antes de un nuevo encendido; un reencendido inmediato sólo es posible con una tensión de encendido muy elevada. En algunas lámparas existen normativas para la disposición de encendido.

Según la presión de servicio, las lámparas de descarga pueden subdividirse en dos grupos principales con distintas propiedades. Un grupo está formado por lámparas de descarga de baja presión. Para el llenado de las lámparas se utilizan en

este caso gases nobles o mezclas de gas noble y vapor metálico con una presión muy por debajo de 1 bar. Debido a la baja presión en el tubo de descarga, prácticamente no se producen interacciones entre las moléculas del gas, se radia un puro espectro de rayas.

La potencia de luz de estas lámparas depende sobre todo del volumen de lámparas, que por unidad de volumen es relativamente baja. Para conseguir una suficiente potencia de luz, las lámparas deben tener grandes tubos de descarga. Las lámparas de descarga de alta presión, en cambio, se activan con una presión claramente por encima de 1 bar.

Debido a la alta presión y las altas temperaturas que se originan, se producen interacciones en el gas de descarga. La luz ya no sólo se emite en las estrechas líneas espectrales de las lámparas de descarga de baja presión, sino en márgenes de frecuencia más anchos. Generalmente, se desplaza la radiación emitida con la presión en aumento hacia el área del espectro de ondas más largas.

La potencia de luz por unidad de volumen es bastante mayor que en las descargas de baja presión; los tubos de descarga son pequeños. Las lámparas de descarga de alta presión, por tanto, representan como ocurre con las incandescentes fuentes de luz puntuales con una elevada luminancia de las lámparas.

Por regla general, los propios tubos de descarga se encuentran rodeados por un doble envoltente adicional, que estabiliza la temperatura de servicio de la lámpara, al tiempo que sirve como filtro ultravioleta y se puede utilizar como portador de una capa fluorescente.

### 3.5.2.1 Lámparas fluorescentes



La lámpara fluorescente es una lámpara de descarga que trabaja con vapor de mercurio. Dispone de un recipiente de descarga en forma de tubo con un electrodo en cada extremo. El llenado de gas se compone de un gas noble, que facilita el encendido controlando la descarga, y de una pequeña cantidad de mercurio, cuyo vapor durante la impulsión emite radiación ultravioleta.

Figura 3.29 Lámparas fluorescentes.

El interior del tubo de descarga está recubierto con una capa de sustancias emisoras, que, debido a la fluorescencia, transforman la radiación ultravioleta de la lámpara en luz visible. Para facilitar el encendido de la lámpara fluorescente, los electrodos casi siempre están acabados como filamento incandescente, llevando adicionalmente una capa de óxido metálico (emisor), que favorece la salida de electrones.

Los electrodos se precalientan en la salida, un impulso de tensión causa entonces el encendido de la lámpara. Mediante la combinación de adecuadas sustancias luminosas se pueden conseguir diferentes colores de luz.

Se combinan frecuentemente tres sustancias luminosas, cuya mezcla produce un color de luz blanco, que se encuentra en la tonalidad del blanco cálido, blanco neutro o blanco luz diurna, según la proporción de las distintas materias fluorescentes.

Contrariamente a parecidas fuentes de luz puntiformes, como por ejemplo la lámpara incandescente, la luz de las lámparas fluorescentes es irradiada desde una gran superficie. Por ello se produce principalmente luz difusa, que resulta menos adecuada para una iluminación acentuada dirigida y más para una iluminación uniforme y de grandes superficies.

Por la difusa luz de la lámpara fluorescente se forman suaves sombras. Sobre superficies brillantes se produce sólo poco brillo. Formas espaciales y cualidades de material por tanto no se acentúan. Por su espectro discontinuo las lámparas fluorescentes disponen de propiedades de reproducción cromática que divergen de las incandescentes.

Pese a que ya por la sola combinación de menos sustancias luminosas se deja producir luz blanca de cualquier temperatura de color, esta luz tiene una peor reproducción cromática que la luz con un espectro continuado por la falta de partes espectrales. Para poder fabricar lámparas fluorescentes con una muy buena reproducción cromática se deben combinar numerosas sustancias luminosas de tal forma que se produzca una distribución comparable al correspondiente espectro continuado.

Las lámparas fluorescentes disponen de un elevado rendimiento luminoso. Su duración de vida es igualmente elevada, aunque con repetidas conexiones de frecuencia se acorta. Para su funcionamiento se necesitan tanto cebador como reactancias; disponen de encendido inmediato y alcanzan al poco tiempo su total potencia luminosa. Después de cortes en el fluido eléctrico, es posible el reencendido inmediato. También es posible regular su flujo luminoso. No existe ninguna limitación en cuanto a la disposición de encendido.

Las lámparas fluorescentes tienen casi siempre forma de tubo, cuya longitud depende de la potencia de luz; como formas especiales se pueden adquirir en forma de U o circular. El diámetro de las lámparas es de 26 milímetros; mm, (ahora también 16 mm).

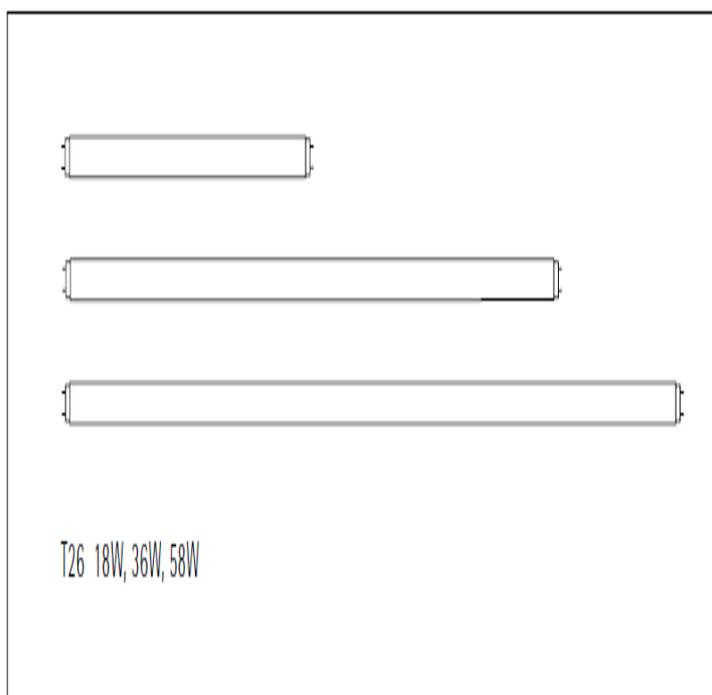


Figura 3.30 Proporciones de longitud de las lámparas fluorescentes usuales T26.

Las más antiguas con un diámetro de 38 mm ya no tienen tanta importancia. Las lámparas fluorescentes se pueden adquirir en numerosos colores de luz, donde sobre todo juegan un papel los colores de luz blanco cálido, blanco neutro y blanco luz diurna, pero también se pueden conseguir lámparas de colores y para fines especiales las lámparas ultravioleta (por ejemplo en la iluminación de alimentos).

La reproducción cromática puede mejorarse a costa de la eficacia luminosa; elevadas eficacias luminosas, en cambio, condicionan un empeoramiento de la reproducción cromática. Estas lámparas con electrodos precalentados se encienden normalmente mediante un cebador externo, pero también existen ejecuciones que, por ayudas integradas de encendido, pueden prescindir del cebador. Éstas se aplican sobre todo en luminarias blindadas para las áreas con peligro de explosión.

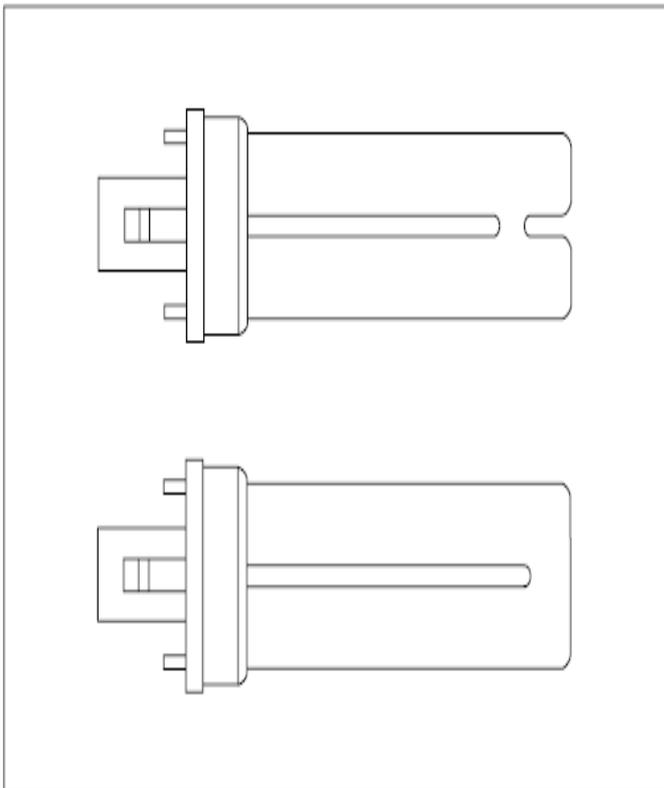
### 3.5.2.2 Lámparas fluorescentes compactas

Las lámparas fluorescentes compactas no se diferencian en su modo de funcionar de las lámparas fluorescentes convencionales. No obstante, disponen de una forma más compacta, que se consigue por un tubo de descarga curvo o por la combinación de varios cortos.

En algunas el tubo de descarga lleva un envoltorio de vidrio, que cambia el aspecto y las propiedades luminotécnicas de la lámpara. Las lámparas fluorescentes

compactas tienen en principio las mismas propiedades que las fluorescentes convencionales, es decir, una elevada eficacia luminosa y una larga duración de vida.

Su potencia luminosa, no obstante, es limitada debido al volumen relativamente bajo del tubo de descarga. Pero al mismo tiempo y debido a su forma compacta tienen otras cualidades y campos de aplicación. Así, surge la posibilidad de aplicar las lámparas fluorescentes no sólo en luminarias de retícula, sino también en luminarias reflectoras (por ejemplo, Downlights).

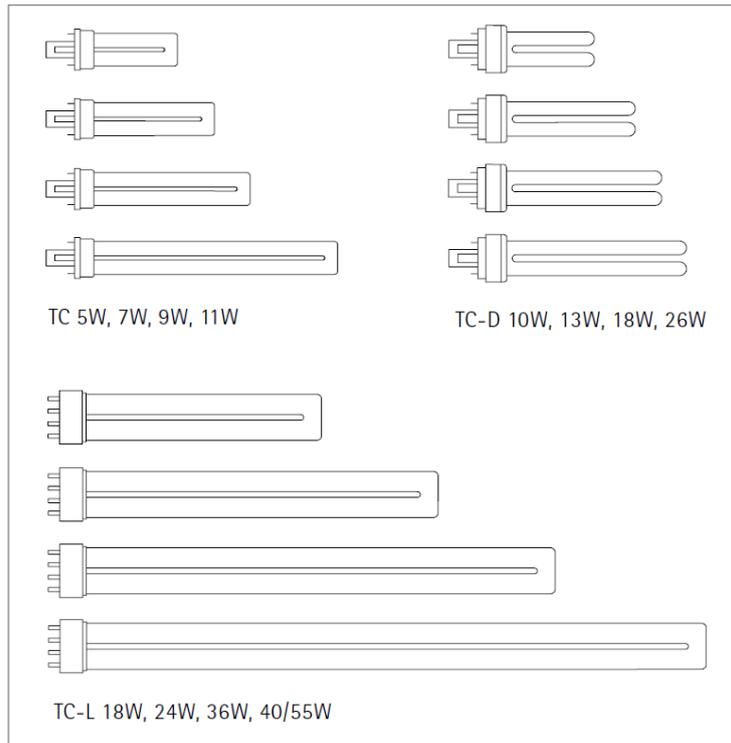


De este modo se puede conseguir un buen enfoque de la luz, que mediante la proyección de sombras acentúa las propiedades de los objetos iluminados. En las lámparas fluorescentes compactas no se puede regular el flujo luminoso cuando llevan cebador integrado, pero se pueden adquirir otros tipos con cebador externo y casquillo tetrapolar que posibilitan el funcionamiento con reactancias electrónicas y regulador de intensidad lumínica.

Figura 3.31 Las fluorescentes compactas disponen de tubos de descarga con retorno hacia un solo casquillo.

Las lámparas fluorescentes compactas se suministran sobre todo en forma de tubo, en el que por lámpara siempre se combinan dos o cuatro tubos de descarga. Para el funcionamiento son necesarios cebador y reactancia; en las lámparas bipolares, sin embargo, el cebador ya se encuentra integrado en el casquillo.

Además de estas formas estándar, que están equipadas con casquillos clavija y previstas para el servicio a reactancias, existen también lámparas fluorescentes compactas con cebador y reactancia integrados; están provistas con casquillo de rosca y se pueden utilizar como las lámparas incandescentes.



Algunas de estas lámparas llevan adicionalmente envoltorios de vidrio en formas cilíndricas o esféricas para conseguir un mayor parecido a las lámparas incandescentes. En cambio, al aplicar estas lámparas en luminarias para lámparas incandescentes hay que tener en cuenta que las propiedades de la luminaria pueden empeorar debido al mayor volumen de la lámpara.

Figura 3.32 Proporciones de las lámparas fluorescentes compactas usuales de los tipos TC, IC-D y TC-L.

### 3.6 Lámparas LED's

El primer LED comercialmente utilizable fue desarrollado en el año 1962, combinando Galio, Arsénico y Fósforo (GaAsP) con lo cual se consiguió un LED rojo con una frecuencia de emisión de unos 650 nanómetros(nm), con una intensidad relativamente baja, aproximadamente 10 mcd a 20mA, (mcd = milicandela, mA = miliamperes).



El siguiente desarrollo se basó en el uso del Galio en combinación con el Fósforo (GaP) con lo cual se consiguió una frecuencia de emisión del orden de los 700 nm. A pesar de que se conseguía una eficiencia de conversión electrón- fotón o corriente-luz más elevada que con el (GaAsP), esta se producía a relativamente baja corrientes, un incremento en la corriente no generaba un aumento lineal en la luz emitida, sumado a esto se tenía que la frecuencia de emisión estaba muy cerca del infrarrojo una zona en la cual el ojo no es muy sensible por lo que el led parecía tener bajo brillo a pesar de su superior desempeño de conversión.

Figura 3.33 Partes del LED.

Los siguientes desarrollos, ya entrada la década de los años 70's, introdujeron nuevos colores al espectro. Distinta proporción de materiales produjo distintos colores. Así se consiguieron colores verde y rojo utilizando (GaP) y ámbar, naranja y rojo de 630nm (el cual es muy visible) utilizando (GaAsP). También se desarrollaron leds infrarrojos, los cuales se hicieron rápidamente populares en los controles remotos de los televisores y otros artefactos del hogar.

En la década de los años 80's del siglo pasado un nuevo material entró en escena el (GaAIAs), Galio, Aluminio y Arsénico. Con la introducción de este material el mercado de los leds empezó a despegar ya que proveía una mayor performance sobre los leds desarrollados previamente.

Su brillo era aproximadamente 10 veces superior y además se podía utilizar a elevadas corrientes lo que permitía utilizarlas en circuitos multiplexados con lo que se los podía utilizar en display y letreros de mensaje variable. Sin embargo este

material se caracteriza por tener un par de limitaciones, la primera y más evidente es que se conseguían solamente frecuencias del orden de los 660nm (rojo) y segundo que se degradan más rápidamente en el tiempo que los otros materiales, efecto que se hace más notorio ante elevadas temperaturas y humedades.

Hay que hacer notar que la calidad del encapsulado es un factor fundamental en la ecuación temporal. Los primeros desarrollos de resinas epoxi para el encapsulado poseían una no muy buena impermeabilidad ante la humedad, además los primeros leds se fabricaban manualmente, el posicionamiento del sustrato y vertido de la resina era realizado por operarios y no por máquinas automáticas como hoy en día, por lo que la calidad del led era bastante variable y la vida útil mucho menor que la esperada.

En los años 90's del siglo pasado apareció en el mercado tal vez el más exitoso material para producir leds hasta la fecha el (AlInGaP) Aluminio, Indio, Galio y Fósforo. Las principales virtudes de este tetar compuesto son que se puede conseguir una gama de colores desde el rojo al amarillo cambiando la proporción de los materiales que lo componen y segundo, su vida útil es sensiblemente mayor, a la de sus predecesores, mientras que los primeros LED's tenía una vida promedio efectiva de 50,000 horas los LED's de (AlInGaP) podían más de 100,000 horas aun en ambientes de elevada temperatura y humedad.

### 3.6.1 Características

Los diodos luminiscentes o emisores de luz, LED's, se caracterizan por una duración de vida muy larga, su resistencia a los impactos y un bajo consumo energético. Al ser regulados, el color de luz se mantiene constante. Al ser conectados a la red, se necesitan equipos auxiliares para contar con la corriente de servicio correcta. La fuente de luz puntual permite dirigir la luz con toda exactitud. El encapsulado del diodo con material sintético cumple las funciones de protección y de lente. La potencia de la radiación del LED disminuye al aumentar la temperatura. Por ello es importante contar una buena disipación del calor durante el funcionamiento.

Conviene evitar que los rayos solares incidan directamente, e igualmente que el montaje se efectúe en las proximidades de otras fuentes de calor. Con una vida media de 50,000 horas, los LED's están disponibles para unos largos períodos de funcionamiento.

El arranque sin retardo alguno, y la reacción inmediata a las órdenes procedentes del control, permiten su empleo para escenas de luz dinámicas cuya característica es la rapidez. Los desarrollos en el campo de los LED's están actualmente encaminados hacia las formas compactas, un flujo luminoso mayor y una eficacia luminosa mejor, amén de una fabricación más económica.

Otro objetivo que se está persiguiendo consiste en reducir las tolerancias de color que se deben a los métodos de fabricación. Los fabricantes clasifican los LED's por el flujo luminoso y la longitud de onda dominante.

### 3.6.2 Generalidades

Los LED's son diodos semiconductores y forman parte de los proyectores electroluminiscentes. La producción de la emisión se efectúa mediante la recombinación de los pares de portadores de carga en un semiconductor, con una distancia de bandas correspondiente. Los LED's producen una radiación de banda estrecha. La temperatura de color se mantiene constante, aún cuando disminuye la intensidad luminosa. En el caso de los LED's para la iluminación, no se produce ninguna radiación ultravioleta (UV) ni infrarroja (IR).

### 3.6.3 Tipos de LED's

Los LED's presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente y fluorescente, principalmente por el bajo consumo de energía, mayor tiempo de vida, tamaño reducido, durabilidad, resistencia a las vibraciones, reducen la emisión de calor, no contienen mercurio (el cual al exponerse en el medio ambiente es altamente venenoso), en comparación con la tecnología fluorescente, no crean

campos magnéticos altos como la tecnología de inducción magnética, con los cuales se crea mayor radiación residual hacia el ser humano; cuentan con mejor índice de producción cromática que otros tipos de luminarias, reducen ruidos en las líneas eléctricas, son especiales para utilizarse con sistemas fotovoltaicos (paneles solares) en comparación con cualquier otra tecnología actual; no les afecta el encendido intermitente (es decir pueden funcionar como luces estroboscópicas) y esto no reduce su vida promedio, son especiales para sistemas antiexplosión ya que cuentan con un material resistente, y en la mayoría de los colores (a excepción de los LED's azules), cuentan con un alto nivel de fiabilidad y duración.

- LED's en colores

Los LED's producen una zona espectral de banda estrecha. La longitud de onda dominante establece el lugar de color del LED. Los LED's cuentan, en comparación con las lámparas fluorescentes de color, con una saturación cromática mayor. La composición del material semiconductor determina el espectro luminoso entregado. Los flujos luminosos de los LED's de color no son uniformes, aún cuando la potencia instalada sea igual.

- LED blanco



Para la producción de luz blanca no existen materiales semiconductores correspondientes. Por dicha razón se emplean actualmente dos tecnologías para obtener la luz blanca: la mezcla RGB o la conversión de luminiscencia. La reproducción cromática de diodos luminosos blancos llega actualmente a un índice de reproducción cromática.

Figura 3.34 Led blanco.

En lo que a los colores de luz se refiere, hay disponibles LED's en blanco cálido, blanco neutro y blanco de luz diurna, desde 2500 °K hasta 8000 °K.

- LED RGB

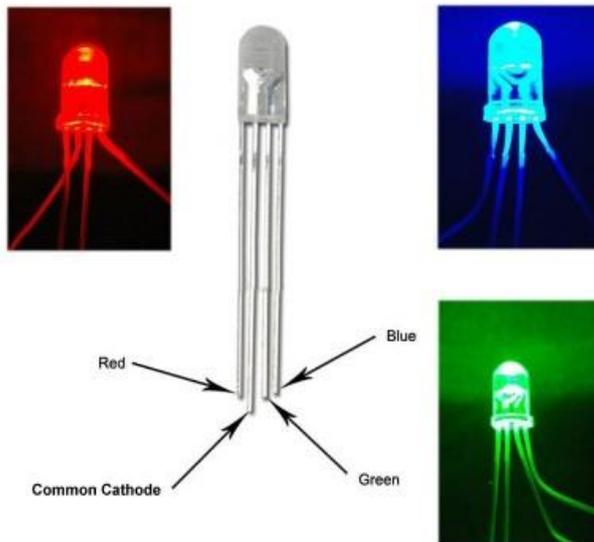


Figura 3.40 LED RGB.

La combinación de tres diodos luminosos, con los colores de luz rojo, verde y azul (RGB), permite mezclar los colores de luz dentro de una gran gama de colores, y de este modo producir también el blanco. El control compensa los diferentes flujos luminosos de los LED's rojos, verdes y azules. Conversión de luminiscencia, mediante el empleo de fósforos como capa luminiscente, es posible convertir el espectro en los LED's de colores.

La fabricación de LED's azules con fósforos amarillos resulta más fácil que emplear LED's de UV con fósforos RGB.

#### 3.6.4 Propiedades de los LED's

Los LED's (Light Emitting Diodes) son elementos semiconductores que transforman directamente la energía eléctrica en luz mediante electroluminiscencia.

La robustez, una larga duración y una elevada eficacia luminosa con un potencial de incremento adicional son propiedades destacadas de los LED's. La luz LED blanca carece de componentes ultravioletas o infrarrojos, y por ello presenta ventajas en cuanto a la conservación.

Los LED's de color blanco luz diurna ofrecen una mayor eficiencia, mientras que los LED's de color blanco cálido proporcionan una mejor calidad de reproducción cromática. Los LED's son regulables y resistentes al encendido y apagado frecuentes, lo cual los convierte en idóneos para el control de la luz o la mezcla de colores aditiva.

A diferencia de lo que ocurre en otras lámparas, en los LED's RGB no se producen pérdidas de transmisión por filtro de color. A fin de explotar íntegramente el flujo luminoso de los LED's sensibles a la temperatura, es imprescindible una buena gestión térmica.

#### 3.6.5 Proyección y reflexión

A diferencia de las fuentes de luz puntuales convencionales, las cuales irradian su luz en un ángulo espacial de casi 360°, los LED's emiten su luz dirigida desde el primer momento en un ángulo espacial <180°.

Además, la mayor eficiencia de transmisión en las lentes en comparación con la reflexión en los reflectores se traduce en un rendimiento superior, el cual se manifiesta en el flujo luminoso resultante procedente de la luminaria.

#### 3.6.6 Gestión térmica

Al igual que otras luminarias, los LED's de alto rendimiento generan calor debido al flujo de corriente en el semiconductor. A fin de garantizar el flujo luminoso nominal y la duración, no debe excederse la temperatura máxima de unión de los LED's, ni tan siquiera en funcionamiento continuo.

De ahí que se conceda especial importancia a la gestión térmica en la luminaria, para que los módulos LED funcionen por debajo de la gama de temperaturas crítica y puedan desplegar todo su rendimiento a lo largo de toda su duración. Para ello se apuesta por elementos refrigeradores pasivos, los cuales no

requieren mantenimiento y son fiables, además de no consumir energía adicional a diferencia de los sistemas activos.

El diseño optimizado térmicamente reduce al mínimo la disminución del flujo luminoso que se da principalmente en los LED's debido al calentamiento.

### 3.6.7 Eficacia luminosa y duración

La rentabilidad de una lámpara depende de la eficacia luminosa y de la duración de la lámpara. La eficacia luminosa es, como medida de la eficiencia de una lámpara, la relación entre el flujo luminoso generado en lumen y la potencia consumida en vatios.

Para la planificación energéticamente eficiente, los LED's constituyen una alternativa importante en virtud de su elevada eficacia luminosa y su larga duración.

A diferencia de las lámparas convencionales, el LED posee además un potencial de desarrollo adicional en cuanto al incremento de la eficacia luminosa. De ahí que, en los cálculos del flujo luminoso o de la iluminancia, el criterio debería ser la eficacia luminosa actual de los LED's y no la potencia del módulo LED.

### 3.6.8 Reproducción cromática

El espectro de la fuente de luz determina la reproducción cromática. Un espectro continuo garantiza una reproducción cromática óptima. En cambio, los espectros de banda empeoran la reproducción cromática.

Las lámparas incandescentes alcanzan una calidad de reproducción cromática excelente. Los LED's de color blanco cálido ofrecen una calidad de reproducción cromática equiparable a la de las lámparas de halogenuros metálicos.

### 3.6.9 Flujo luminoso (lm)

El flujo luminoso designa la potencia luminosa total generada por una fuente de luz en el espectro visible y contempla la distinta sensibilidad espectral del ojo. Un flujo de radiación en gamas de frecuencia de menor sensibilidad del ojo tiene como consecuencia unos flujos luminosos menores.

Los LED's evolucionan hacia unas potencias instaladas y unos flujos luminosos cada vez mayores, de modo que pueden ser utilizados con creciente frecuencia en tareas de iluminación con gran demanda de flujo luminoso.

Para la elección rápida de las lámparas y las potencias adecuadas, es recomendable planificar conforme a paquetes de lumen.

### 3.6.10 Color de luz

El color de luz de una lámpara depende de la distribución espectral de la luz emitida. En la práctica tiene lugar una categorización de los colores de la luz como blanco cálido, blanco neutro o blanco luz diurna.

Las lámparas con el color blanco cálido resaltan la zona espectral roja y amarilla, mientras que con la luz de color blanco luz diurna se acentúan los colores azules y verdes, es decir, fríos.

#### 4.1 Antecedentes

El municipio de Ecatepec se ubica al Noreste de la Ciudad de México, perteneciente a la Región III-Texcoco del Estado de México. Colinda al Norte con los municipios de Tecámac y Coacalco de Berriozábal, al Sur con el municipio de Nezahualcóyotl, al Este con los municipios de Acolman, Atenco y Tezoyuca, y al Oeste con los municipios de Tlalnepantla y Tultitlán; también colinda al Sur con la Delegación Gustavo A. Madero. Ecatepec es un núcleo habitacional e industrial de gran importancia por eso es un generador de empleos. Localidades: 1 ciudad, 6 pueblos, 2 rancherías, 6 ejidos, 12 barrios, 102 fraccionamientos y 209 colonias. Sus coordenadas geográficas son:

Altitud: 2,259 msnm (metros sobre el nivel del mar)

Latitud: 19° 36' 03" N

Longitud: 99° 03' 09" O

Se encuentra referido a los paralelos 19° 19' 24" latitud norte y a los 19° 19' 49" longitud oeste del meridiano de Greenwich y una altitud de 2,200 a 2,600 msnm. El espacio físico que ocupa este municipio se localiza en el norte del Estado de México y también al norte del valle de México, con una extensión de 186.9 kilómetros cuadrados.



Figura 4.1 Municipio de Ecatepec de Morelos.

En 2010, según el censo del INEGI, la población total de municipio era de 1'656,107 (849,664 mujeres y 806,443 hombres). Esta población correspondía tanto a la ciudad como a los 8 pueblos (San Pedro Xalostoc, Santo Tomás Chiconautla, San Isidro Atlautenco, San Andrés de la Cañada, Santa Clara Coatitla, Santa María Tulpetlac, Santa María Chiconautla y Guadalupe Victoria), 6 ejidos, 12 barrios, 102 fraccionamientos y 209 colonias, que conforman el municipio. Durante el 2010 hubo 34,884 nacimientos (de los cuales 17,568 fueron hombres y 17,316 fueron mujeres).

Parte de su población proviene de la reubicación de los afectados del sismo del 85, que actualmente son las colonias de Prados Sur, Prados Norte, Prados Ecatepec y la Unidad habitacional la Pradera. Debido a su rápido crecimiento el municipio enfrenta graves problemas de insuficiencia en los servicios, además de que la mayoría de sus habitantes se trasladan al Distrito Federal a realizar sus actividades ya sean académicas o laborales. Estos problemas se deben a que el Municipio de Ecatepec es el más densamente poblado de todo el país.

La economía de Ecatepec hasta antes de los años 40's del siglo XX, tenía una preeminencia en las actividades del sector primario (agricultura, ganadería, etc.), las primeras empresas en llegar a este municipio fueron: Asbestos de México en 1932 y Kelvinator y Almexa, instaladas en 1938. Actualmente la economía se basa en la [industria](#), el [comercio](#) y los [servicios](#).

Hasta la década de los años cincuenta de siglo XX, el ramo de los servicios sólo estaba compuesto por estaciones de servicio, peluquerías, talleres mecánicos y algunas taquerías, torterías, pulquerías y cantinas y no fue sino hasta mediados de la siguiente década que empezaron aparecer algunos bancos y restaurantes formales.

Actualmente, el sector servicios ocupa a más de un tercio de la población económicamente activa, además de los señalados, podemos encontrar negocios tales como mercados, lavados de autos, cines, casas de cambio, casas de empeño, hospitales, clínicas, laboratorios clínicos, escuelas, universidades, hoteles y una



## 4.2 Proyecto

La demanda de bienes y servicios en las colonias era en un porcentaje bajo dado que la población estaba en pequeñas cantidades dado que con el tiempo fue creciendo, de la misma forma los bienes y servicios crecieron y esto se reflejó en el aumento de locales en los mercados a su vez, esto implicó la demanda eléctrica que no estando calculada empezó a tener conflictos con las colonias de su alrededor por los constantes apagones a consecuencia de la interrupción por fallas para el suministro eléctrico.

Dichos apagones se originaban por el alto consumo eléctrico que no estaba calculado y esto originaba estallidos de transformadores, desconexión de cuchillas y sobretensión de las líneas de distribución.

Dado que muchos mercados no cuentan con planos eléctricos, ni con la reglamentación eléctrica siendo la actual o pasadas. Es de importancia normalizar es tipo de mercados para evitar accidentes tales como incendios por cortocircuito o una deficiencia en el voltaje y grandes consumos de corrientes por malos cálculos. Aparte que en dichos mercados no se tomaba en cuenta algo muy importante que es la iluminación ya sea del mismo mercado como particularmente de cada local en él.

El mercado Nueva Aragón cuenta con una dimensión de 787.25 m<sup>2</sup> de superficie, con una plantilla de 102 personas laborando, dividiéndose en administración y operación. Se cuenta con un total de locales de 52 repartidos en 8 áreas las cuales son: administración, carnicerías, baños, abarrotes y cremería, planchas de frutas y verduras, pollerías, área de cocinas y accesorias a la calle.

El mercado no tiene una acometida tal cual, se tienen 10 bajadas que alimentan 8 secciones del mercado individualmente, dichas bajadas son un peligro latente porque no están bien realizadas. Además de esta situación se hace mención de que en la temporada navideña se incrementa la carga debido a que se instalan puestos enfrente del mercado, siendo su consumo mayor que viene de dichos locales externos haciendo esto un problema técnico y de consumo eléctrico.

A raíz de que conforme se iban instalando los locatarios se realizaba la instalación eléctrica, la cual es deficiente, por no tomar en cuenta el crecimiento de la carga o en dados casos el cambio de giro que podría aumentar el consumo de energía en todos estos casos no se tomó en cuenta los cálculos necesarios para así evitar posibles siniestros eléctricos.

También un aspecto importante es que no se tiene la iluminación adecuada tanto en los mismos locales o en los pasillos del mercado, esto debido a que como se ha mencionado todo se va realizando conforme a las necesidades del momento. Por lo tanto la iluminación no es la adecuada para el mercado en general.

A la vez se cuenta con una telaraña de cables que vienen desde los postes y que se agravan cuando bajan a los locales porque dichas bajadas no están entubadas y aparte de ello no son los calibres necesarios para la transmisión de la energía eléctrica.

#### 4.3 Desarrollo del proyecto

El plano del mercado es el siguiente (ver figura 4.3).

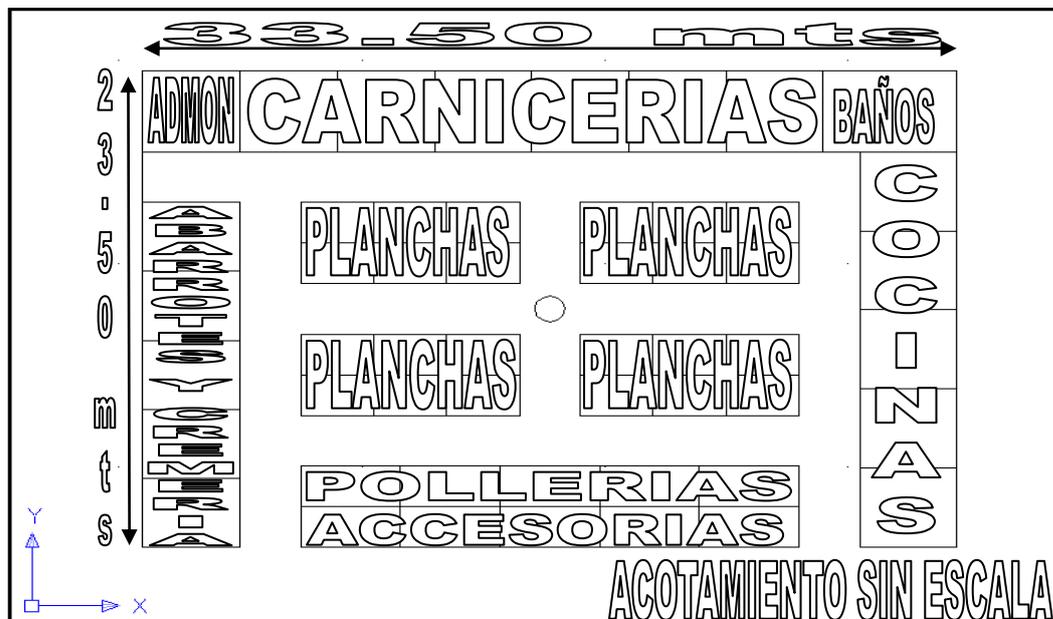


Figura 4.3 Locales del mercado.

Se han considerado 4 circuitos los cuales satisfacen las necesidades eléctricas de los locales por donde pasan los cables que suministran la energía eléctrica. 1<sup>er</sup> circuito en la figura 4.4, se muestra la trayectoria del mismo.

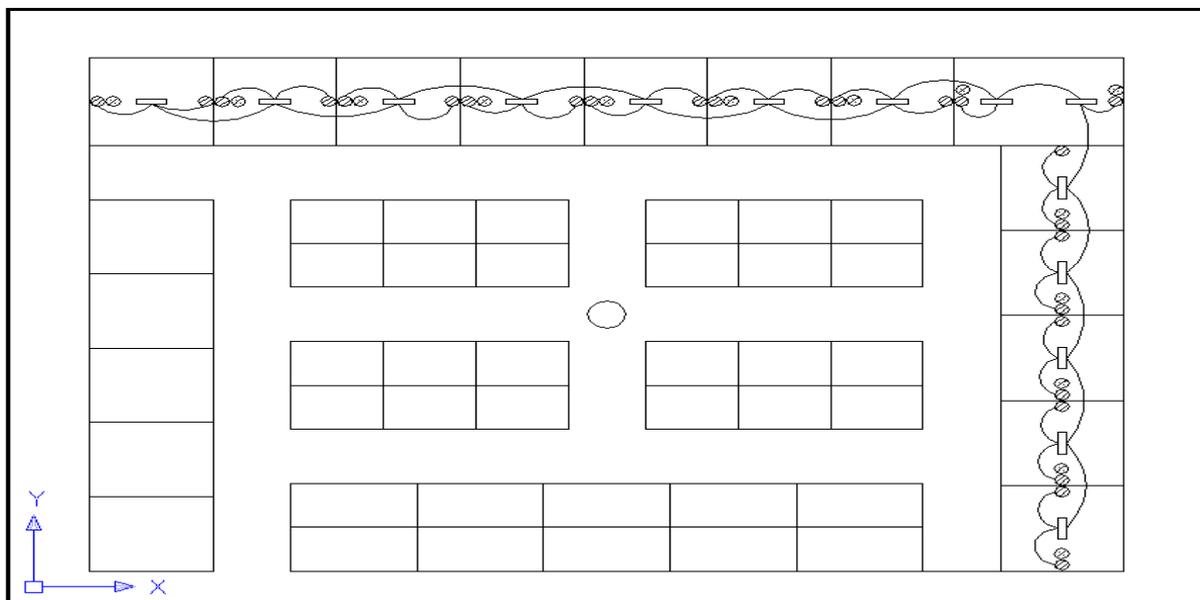


Figura 4.4 Circuito uno.

En este circuito por donde pasaran los cables se consideran los locales de carnicerías, cocinas, baños y también la administración.

Para esto se realiza un cuadro de cargas en el cual se describen todos los equipos eléctricos que van a consumir energía y queda de la siguiente forma:

Carnicería	Consumo
Molino	560 watts
Sierra	2238 watts
Vitrina	560 watts
Bascula	55 watts
Congelador	1000 watts
Televisión y/o Grabadora	28 / 150 watts
<b>Total</b>	<b>4591 watts</b>

Existen un total de 6 carnicerías haciendo la multiplicación de estas por el consumo de cada una de ellas da 27,546 watts.

A continuación se presenta el cuadro de cargas de las cocinas:

Cocina		
Refrigerador	373	watts
Horno	1500	watts
Licuadaora	600	watts
Televisor y/o Grabadora	28 / 150	watts
Total	2651	watts

Teniendo un total de 5 cocinas se tiene una carga total de 13,255 watts.

En este trayecto se tiene separada la carga de la luminaria con un total de 54 lámparas repartidas en todos locales de este tramo y cada una con un consumo de 72 watts, teniendo así un total de 3,888 watts. Más 26 contactos de 180 watts, cada uno da un total de carga de 4,680 watts, teniendo así todas las cargas para este circuito.

Haciendo la suma total de estas cargar se tiene; 49,369 watts, es decir:

27,546 + 13,255 + 3,888 + 4,680= 49,369 watts, con este consumo se procede al cálculo del interruptor termomagnético.

Para ello tenemos la fórmula:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * .9}$$

I= corriente

P= potencia

V= voltaje

Es decir:

$\frac{49,369}{(\sqrt{3} * 220 * .9)} = 144.13$  amperes (A) a esta cantidad se le aplica el 70% de corrección dando así la cantidad final de la corriente (I) que es de 101 A.

Con este valor se calcula el calibre del conductor para este circuito teniendo así la siguiente fórmula:

Sección Transversal

$$Scu = \frac{2cLI}{Ve\%} \quad \text{donde;}$$

$$c = \sqrt{3}$$

L= longitud del trayecto

V= voltaje

e%= porcentaje de caída del voltaje

Sustituyendo datos:

$Scu = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 58 \cdot 101}{220 \cdot 3} = 30.71 \text{ mm}^2$  (milímetros)<sup>2</sup> buscando así en tablas y el valor más cercano es de 33.6 mm<sup>2</sup> que corresponde al calibre 2 AWG y que este es capaz de transportar 115 A.

Teniendo los datos del calibre se procede a buscar el tamaño adecuado de tubería y se encuentra en tablas las cuales indican que la tubería es de 2 pulgadas de diámetro siendo esta la más adecuada para esta instalación.

Para el 2<sup>do</sup> circuito (ver figura 4.5),

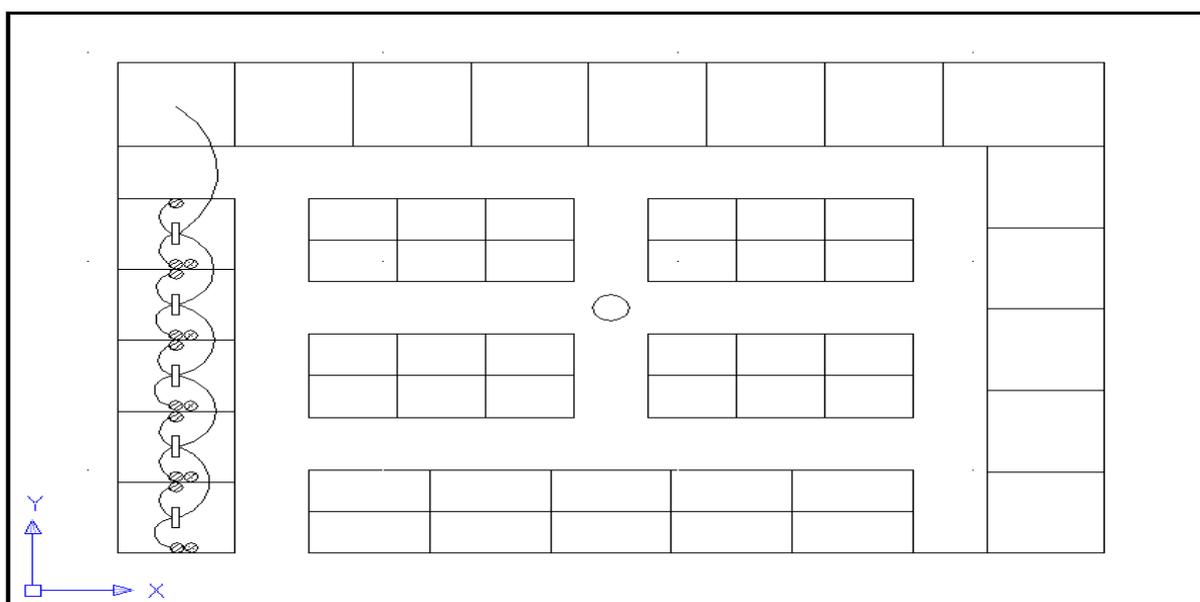


Figura 4.5 Segundo circuito.

Este circuito alimentará a los locales de abarrotes y cremería. Para ello se muestra la siguiente información en tabla:

Abarrotes y Cremería		
Vitrina	187	watts
Refrigerador	373	watts
Cortadora	373	watts
Bascula	55	watts
Televisor y/o Grabadora	28 / 150	watts
Total	1166	watts

A esto lo multiplicamos por los 5 locales de este giro cuya cantidad es de 5,830 watts, a esto también se le suma la luminaria, 15 lámparas de 72 watts, de consumo cada una. Por lo que se tiene 1,080 watts, mas aparte los contactos que son 10 de 180 watts, cada uno, siendo así la cantidad de 1,800 watts, teniendo estos valores se procede a sacar la corriente de consumo de este circuito.

Es decir;

$5,830 + 1,080 + 1,800 = 8,710$  watts, de aquí calculamos la corriente como se hizo en el circuito anterior:

$\frac{8,710}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.9} = 25.43$  A de esto se toma el 70% se tienen 17.80 A con este dato se saca el área transversal del conductor con la fórmula ya empleada en el otro circuito teniendo así:

$S_{cu} = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 23.5 \cdot 17.80}{220 \cdot 3} = 2.19$  mm<sup>2</sup> con esta cantidad vamos a tablas para buscar el valor más cercano indicando el calibre 14 AWG, dado que este calibre es un poco riesgoso se opta por el calibre 10 AWG.

Así teniendo el calibre se busca la tubería más adecuada para nuestra instalación en tablas las cuales indican  $\frac{3}{4}$  de pulgada siendo esta la mejor opción.

Continuamos con el tercer circuito (ver figura 4.6),

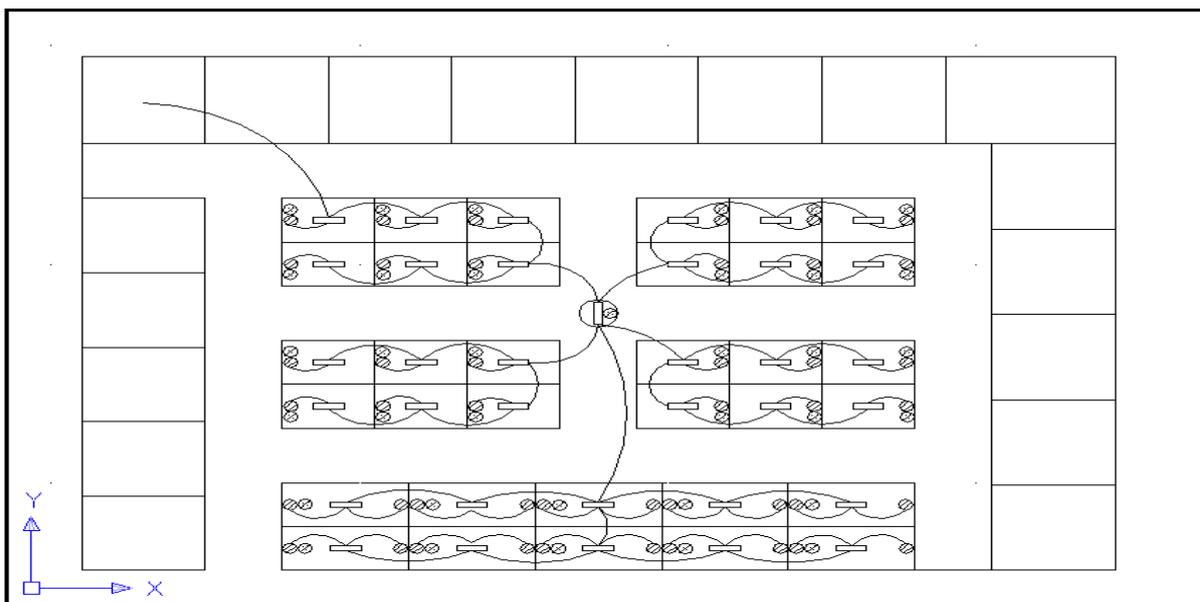


Figura 4.6 Tercer circuito.

En este circuito se tienen las planchas de frutas y legumbres, pollerías y accesorias también para este se necesita un cuadro de cargas el cual se muestra a continuación.

Pollería	
Congelador	1000 watts
Bascula	55 watts
Televisor y/o Grabadora	28 / 150 watts
Total	1233 watts

Teniendo 5 pollerías la carga total es 6,165 watts, se cuentan también con 59 lámparas con un consumo de 72 watts, cada una eso da la cantidad de 4,248 watts, más la suma de los 45 contactos de 180 watts, cada uno da 8,100 watts, ya teniendo estas cantidades se procede a calcular la corriente para este circuito.

Es decir;

$6,165 + 4,248 + 8,100 = 18,513$  watts, donde:

$\frac{18,513}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.9} = 54.05$  A de este valor se toma el 70% y da 37.84 A como resultado.

Teniendo el valor de la corriente vamos a calcular el área transversal del conductor ocupando la fórmula.

$Scu = \frac{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 31.75 \cdot 37.84}{220 \cdot 3} = 6.30$  mm<sup>2</sup> se verifica en tablas viéndose que el valor que se aproxima es de 8.37 mm<sup>2</sup> siendo este un calibre 8 AWG, sabiendo el calibre se busca la tubería más adecuada para la instalación de nueva cuenta revisamos las tablas y dice que la tubería de 1 pulgada es la más indicada.

Para nuestro 4<sup>to</sup> circuito (ver figura 4.7),

En este circuito se tienen luminarias sumando un total de 59 lámparas, cada una de estas con un consumo de 72 watts, siendo así una carga total de 4,248 watts, se aplican todas las fórmulas anteriores y se obtienen los siguientes valores:

$\frac{4,248}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.9} = 12.40$  A de esto se toma el 70% y da 8.68 A para este circuito se toma en cuenta que es una corriente muy pequeña observando en tablas el calibre para una corriente de esta cantidad, es calibre 14 AWG tomando en cuenta que es un calibre riesgoso se opta por calibre 10 AWG siendo este más apropiado para la instalación.

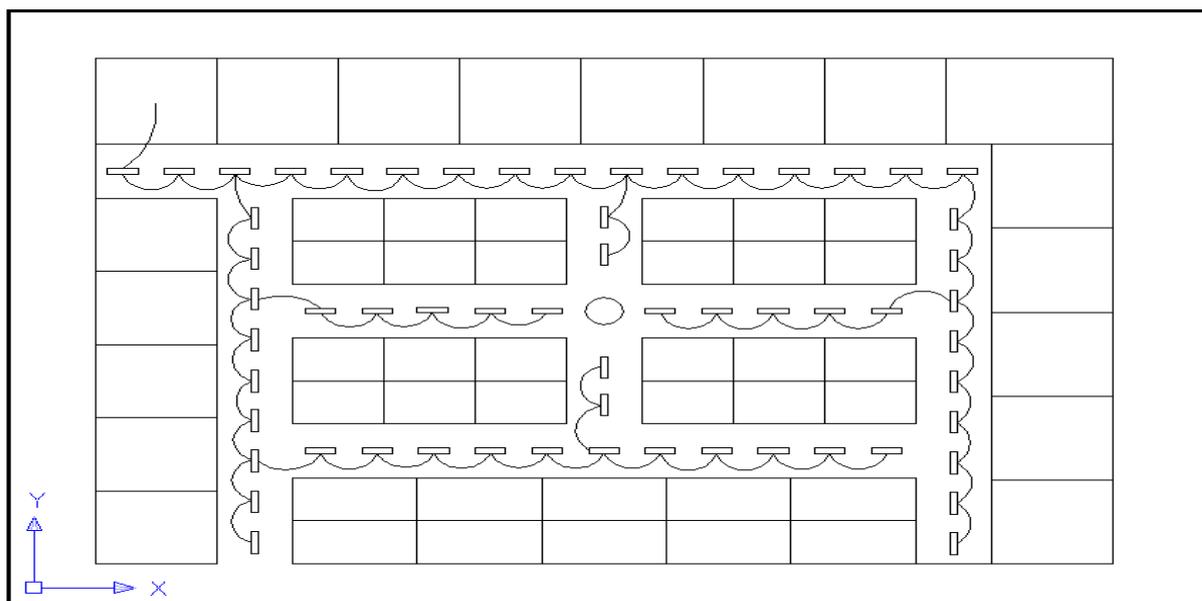


Figura 4.7 Cuarto circuito.

Algo muy importante para este proyecto es un transformador exclusivamente para el uso del mercado ya que como se ha mencionado no se tiene una acometida específica para esto se hace la suma de las cargas de cada circuito y eso da un valor de 80,840 watts, a esta suma la multiplicamos por 2 para prever que nuestro transformador no esté saturado y queda la cantidad de 161,680 watts, este dato se le proporciona al proveedor o fabricante de transformadores para que diga cuál es el transformador más acorde a las necesidades teniendo así un transformador de 178 KVA para este proyecto.

También ha de mencionarse que el mercado no cuenta con un sistema de tierras, el cual es muy importante para prevenir accidentes dentro de los locales por fugas de corriente que pueden ser muy peligrosas, así como de descargas atmosféricas que pudieran dañar a los equipos de los mismos locales y lo más importante a las personas que laboran en el mercado.

Para esto se toma el valor de 80,840 watts, que es la suma total de la carga y a la cual se le aplica la fórmula de los circuitos anteriores, es decir:  $I = \frac{P}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 9}$  que al sustituir los datos da como resultado:

$I = \frac{80,840}{220 \cdot \sqrt{3} \cdot 9} = 236$  A esta cifra se lleva con el proveedor o fabricante de los sistemas de tierras y el proporcionará el más adecuado a las necesidades requeridas para el mercado.

Para este sistema de tierras existe un kit de 600 A que es lo que cubre las necesidades requeridas para este servicio de protección a la instalación eléctrica.

Para la realización del proyecto se necesitaran celdas fotovoltaicas que tengan el beneficio de interconectarse con la red eléctrica de CFE satisfaciendo estas necesidades encontramos a la empresa solartec que en su catalogo de productos cuenta con este tipo de celdas.

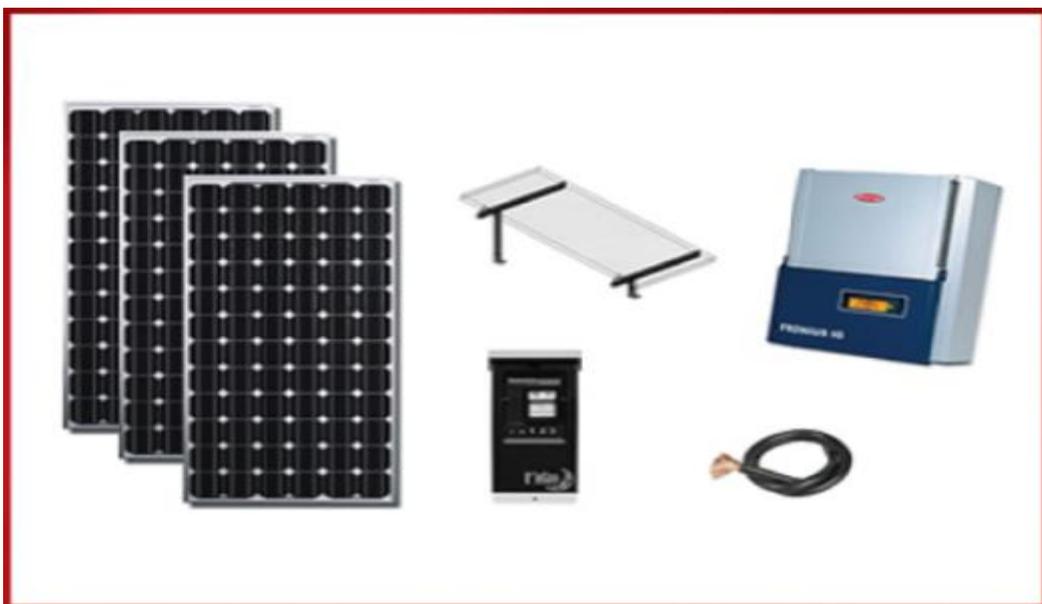


Figura 4.8 Kit de celdas fotovoltaicas solartec.

Estas celdas fotovoltaicas se pueden acoplar a la estructura del mercado en cuestión dado que están fabricadas para espacios irregulares.



Figura 4.9 Acondicionamiento de las celdas fotovoltaicas.

Los kits de celdas fotovoltaicas solartec, incluyen todos los componentes para una instalación adecuada, los kits están compuestos por:

- Celdas fotovoltaicas solartec
- Inversores
- Estructuras de aluminio especialmente diseñadas para las celdas fotovoltaicas
- Caja de protecciones eléctricas para las celdas fotovoltaicas
- Cable fotovoltaico y conectores para las celdas fotovoltaicas

La energía generada por los sistemas fotovoltaicos contribuye a reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Los kits están diseñados para funcionar adecuadamente en climas con temperaturas ambientales entre los -10°C a los 50°C.

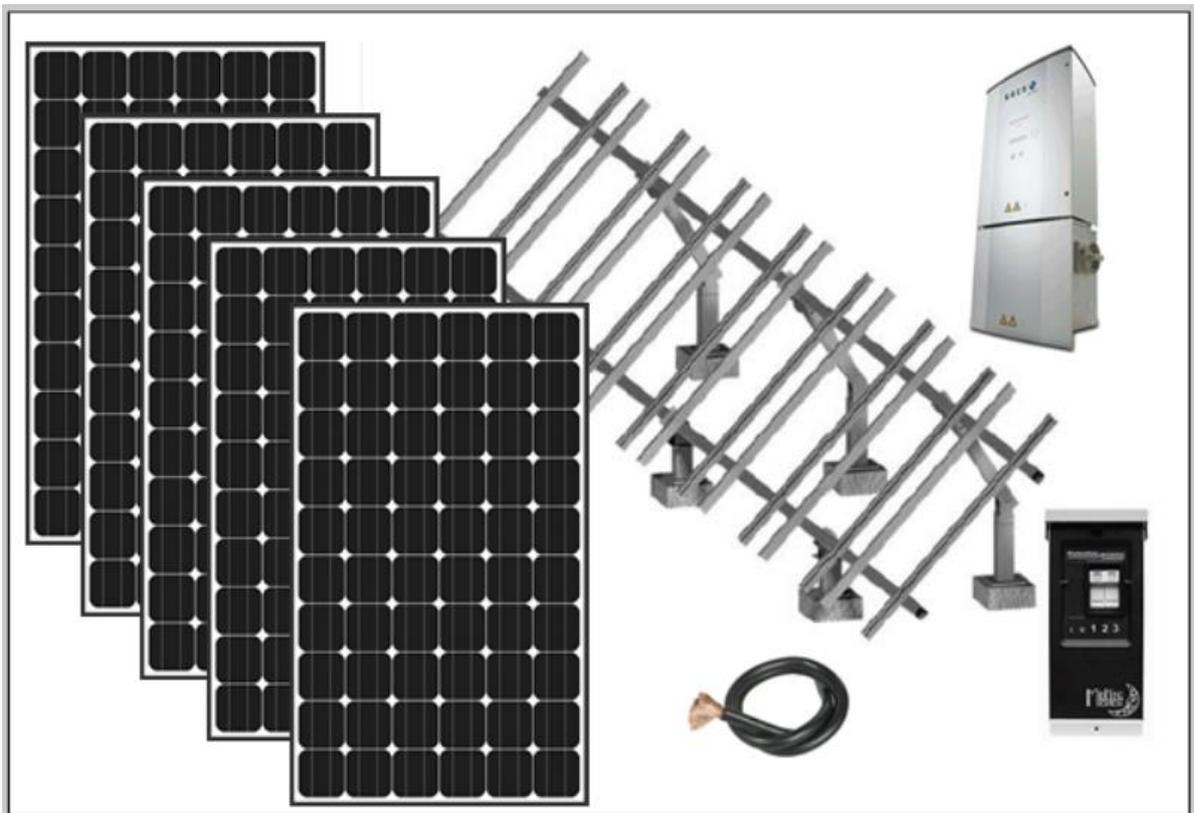


Figura 4.10 Kit de celdas fotovoltaicas para interconexión a la red.

Beneficios:

- Reduce la facturación de energía eléctrica
- Incrementa el valor de su inmueble
- Los sistemas de celdas fotovoltaicas son silenciosos, rentables, no requieren mantenimiento y son ecológicos
- Los sistemas de celdas fotovoltaicas requieren un mantenimiento mínimo



Figura 4.11 Esquema eléctrico de las celdas fotovoltaicas.

Las cargas comerciales de estas celdas fotovoltaicas son de 1, 2, 3 y 5 KW pero para la realización de este proyecto se platica con la empresa mencionada y se pueden hacer módulos especiales de 10 KW esto favoreciendo el rendimiento en el espacio de las celdas y la carga.

Para lo cual se necesitan 10 módulos los cuales satisfacen la demanda de la carga que oscila entre los 100 KW.

#### 4.4 Costos

A continuación se presenta la lista de materiales que se utilizarán en la instalación eléctrica y de iluminación para este proyecto.

##### LISTA DE MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	U, DE M.	P. U.	CANTIDAD	IMPORTE
1	CABLE CAL. 10	ROLLO DE 100 MTS	1,000.00	2	2,000.00
2	CABLE CAL. 8	ROLLO DE 100 MTS	1,690.00	5	8,450.00
3	CABLE CAL. 2	ROLLO DE 100 MTS	6,410.00	3	19,230.00
4	CABLE CAL. 1	ROLLO DE 100 MTS	10,000.00	1	10,000.00
5	TUBO 2 1/2" P. D.	TUBO DE 3 MTS	551.70	20	11,034.00
6	TUBO 1" P. D.		98.10	19	1,863.90
7	TUBO 3/4" P. D.		68.70	44	3,022.80
8	INTERRUPTOR 250A	TRIFASICO 250A	11,088.00	1	11,088.00
9	INTERRUPTOR 100A	TRIFASICO 100A	3,680.20	1	3,680.20
10	INTERRUPTOR 50A	TRIFASICO 50A	1,360.50	1	1,360.50
11	INTERRUPTOR 30A	TRIFASICO 30A	816.30	11	8,979.30
12	INTERRUPTOR 10A	MONOFASICO 10A	82.50	11	907.50
13	GABINETE 250A		1,686.10	1	1,686.10
14	GABINETE 100A		816.60	1	816.60
15	CAJA 50A		410.00	1	410.00
16	CAJA 30A		290.00	11	3,190.00
17	CAJA 10A		95.00	45	4,275.00
18	CONTACTOS 20A	DUPLEX	20.00	74	1,480.00
19	APAGADOR 15A	SENCILLO	16.00	49	784.00
20	LUMINARIA DOBLE	LEDS BAJO CONSUMO	2,200.00	197	433,400.00
21	OMEGAS 2 1/2"	2 1/2"	4.00	60	240.00
22	OMEGAS 1"	1"	2.00	57	114.00
23	OMEGAS 3/4"	3/4"	1.50	132	198.00
24	TORNILLOS	2"	0.75	500	375.00
				TOTAL	528,584.90

Se menciona de igual forma al personal:

LISTA DE  
PERSONAL

Nº	DESCRIPCION	U. DE M.	P. U.	CANTIDAD	JORNADA DE 8 HORAS	IMPORTE
1	SUPERVISOR	JORNADA DE 8 HORAS	600.00	1	20	12,000.00
2	TECNICO ELECTRICISTA	JORNADA DE 8 HORAS	400.00	1	20	8,000.00
3	AYUDANTE ELECTRICO	JORNADA DE 8 HORAS	300.00	2	20	12,000.00
4	ALBAÑIL	JORNADA DE 8 HORAS	600.00	1	5	3,000.00
5	AYUDANTE DE ALBAÑIL	JORNADA DE 8 HORAS	300.00	2	5	3,000.00
					TOTAL	38,000.00

Se presenta una lista de equipos complementarios que garantizan el servicio de iluminación y acometida eléctrica:

Nº	DESCRIPCION	U, DE M.	P. U.	CANTIDAD	IMPORTE
1	TRANSFORMADOR DE POTENCIA	KVA	100,000.00	1	100,000.00
2	SISTEMA DE TIERRAS	AMPERES	20,000.00	1	20,000.00
3	PANELES SOLARES	KW	333,180.00	10	3'331,800.00
				TOTAL	3'451,800.00

#### 4.5 Tiempo de realización

Apoyándose en el diagrama de Gantt en el cual se describen las actividades a realizar y el tiempo que tardarán en su realización el cual es de un mes, (ver figura 4.8).

Proyecto de instalación eléctrica e iluminación del mercado Nueva Aragón en el municipio de Ecatepec de Morelos, Estado de México.



Figura 4.8 Diagrama de actividades.

A continuación se presenta la descripción y el monto en lo referente a materiales, personal que laborara y el suministro e instalación de los equipos.

DESCRIPCION	MONTO
MATERIALES	528,584.90
PERSONAL PARA LABORAR	38,000.00
SUMINISTRO E INSTALACION DE LOS EQUIPOS	3'454,800.00
TOTAL	4'021,384.00

Por lo tanto que el costo del proyecto es de; cuatro millones veinte un mil trescientos ochenta y cuatro pesos 90/100 M.N.

Actualmente la Comisión Federal de Electricidad (CFE), no se da abasto en la instalación de nuevas líneas de transmisión en el Estado de México, esto a consecuencia de no existir planes de desarrollo urbano para los diferentes municipios que lo integran. Ejemplo de ello es la colonia Nueva Aragón del municipio de Ecatepec de Morelos, donde está una localidad que presta el servicio de alimentos (mercado), para los vecinos de dicha colonia y alrededores.

Esta infraestructura desde sus inicios hasta la actualidad no cuenta con plan de desarrollo en lo referente a la energía eléctrica por parte del organismo suministrador que es la CFE.

Es por ello que en este trabajo de investigación se propone la alternativa en lo referente al ahorro energético de utilizar celdas fotovoltaicas aprovechando la energía calorífica de los rayos solares; que por medio de un convertidor y un acumulador, puedan convertir la intensidad de calor en corriente eléctrica.

Para ello es necesario el reacondicionamiento de las instalaciones eléctricas de iluminación y de potencia considerando que por cuestiones de seguridad se utilicen materiales de primera calidad, logrando así un beneficio para la infraestructura con la cual se eliminan siniestros eléctricos así como el establecimiento de orden en lo referente al sistema.

Lo cual con lleva al ahorro energético mejorando el ambiente y un ahorro considerable por el pago de su operación como cualquier infraestructura que es suministrada por empresa gubernamental o particular.

Larkum, Adam

La historia de los inventos.

Usborne Publishing, 2008, London, 2da ed.

Enríquez Harper, Gilberto

El abc del alumbrado y las instalaciones eléctricas en baja tensión.

Limusa, 2000, México, 2da ed.

Enríquez Harper, Gilberto

Manual práctico del alumbrado.

Limusa, 2003, México, 1ra ed.

Hormann, Harald

Como planificar con luz.

Vieweg, 2005, Barcelona, 1ra ed.

Oropeza Ángeles, Javier

Instalaciones eléctricas residenciales.

Mcsyl, 2007, Mexico, 1ra ed.

Enríquez Harper, Gilberto

El abc de las energías renovables en los sistemas eléctricos.

Limusa, 2012, México, 1ra ed.

Westinghouse

Manual de alumbrado.

Limusa, 2000, México, 1ra ed.

